

Rauli Kinnunen

Vedenpaineenalaisen pohjalaattaratkaisun vaikutus kustannuksiin ja aikatauluun

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

9.11.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Rauli Kinnunen Vedenpaineenalaisen pohjalaattaratkaisun vaikutus kustannuksiin ja aikatauluun 44 sivua + 1 liitettä 9.11.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Niilo Kemppainen, Lehtori Glenn Kevin, Työpäällikkö
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Lemminkäinen Talo Oy talonrakentamisen yksikölle. Insinöörityön tavoitteena oli selvittää kahden samankaltaisissa olosuhteissa perustettujen tonttien erilaisen pohjalaattaratkaisun vaikutuksia aikatauluun ja kustannuksiin sekä verrata saatuja tuloksia keskenään. Tutkimukseen valittiin kohteet, jotka sijaitsivat vierekkäisillä tonteilla ja joissa pohjalaatta altistui vedenpaineelle. Myös junaradan välitön läheisyys toi myös lisää haasteita kohteisiin.</p> <p>Työn alussa perehdyttiin teoriaan pohjaveden sekä junaradan vaikutuksista yleisesti rakentamisessa sekä myös kyseisissä kohteissa. Tämän jälkeen perehdyttiin tonttien alapohjalaattaratkaisuihin sekä tontteihin yleisesti. Käytännöntutkimuksessa vertailtiin toteutuneita aikatauluja sekä kustannuksia, joiden perusteella saatiin aikataululliset sekä kustannukselliset eroavaisuudet.</p> <p>Vertailujen tuloksena havaittiin, että toinen pohjalaattaratkaisu oli hieman tehokkaampi kustannuksellisesti sekä aikataulullisesti ja se myös pysyi paremmin aikataulussa. Vertailujen tuloksia ei voida pitää kuitenkaan suoraan verrannollisina, sillä kohteet olivat laajuudeltaan erilaiset sekä työvaiheisiin vaikuttivat myös vallitsevat olosuhteet, jotka olivat molemmissa erilaiset.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena esitettiin toteutuneet erot perustamistavan kustannuksissa ja aikatauluissa. Vertailujen ja haastatteluiden perusteella pohdittiin mahdollinen tulevaisuuden ratkaisumalli samankaltaisiin ympäröiviin olosuhteisiin ja kohteisiin.</p>	
Avainsanat	vedenpaine, kustannus- ja aikatauluvertailu, alapohjalaatta

Author(s) Title Number of Pages Date	Rauli Kinnunen Effects on expenses and timetables in foundations built under water pressure 44 pages + 1 appendices 9 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Niilo Kemppainen, Senior Lecturer Glenn Kevin, Project Manager
<p>This study was done for Lemminkäinen Talo Oy. Two different founding solutions on adjacent locations and similar circumstances were compared to each other in this thesis. In both locations foundations were built under water pressure levels. Calculated schedules and the actual costs were taken into account when the actual comparison was made. Locations selected for this thesis had difficult circumstances, because of high water pressure and active railway track nearby.</p> <p>The objective of the study was to compare the results of founding solutions and figure out possible way to do these kinds of foundations in the future. The actual costs and completed schedules for the research came from the outcomes of Lemminkäinen Talo on these selected locations.</p> <p>In the beginning of this study the project was introduced. The literature research was based on the affects of water pressure and railway track for construction sites generally and on these selected locations. After that the locations and foundation types selected for the locations were introduced. In the empirical part of the study the actual costs and timetables were compared.</p> <p>The results show, that other solution was more efficient in schedule and costs. The results can not be compared directly, because the extents and the time of year were different in both solutions.</p> <p>As a result of this thesis a possible future solution was introduced. The solution for the same kind of circumstances was based on the results of comparison made and interviews on the construction site.</p>	
Keywords	Water pressure, comparison of costs and timetable, foundations

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Lemminkäinen Talo Oy	1
1.2	Tutkimuksen taustaa	1
1.3	Tutkimuksen tavoite	1
1.4	Tutkimusmenetelmät	2
1.5	Tutkimusraportin rakenne	2
2	Pohjaveden vaikutus rakentamiseen	3
2.1	Veden esiintymismuodot maaperässä	3
2.2	Pohjavesi	4
2.3	Pohjatutkimus	5
2.4	Vedenpaine	6
2.5	Vedenpaineen eristys	9
2.6	Pohjaveden hallinta Töölönlahden työmailla	10
3	Radan vaikutus rakentamiseen	11
3.1	Yleistä	11
3.2	Melu	11
3.3	Tärinä	12
3.4	Sähköradan vaikutusalueen työvaiheet	12
3.5	Työturvallisuus	14
4	Pilaantuneet maat	14
4.1	Yleistä	14
4.2	Pilaantumista aiheuttava toiminta	15
4.3	Yleisimmät maaperää pilanneet aineet	15
4.4	Pilaantumisen aiheuttamat riskit	15
4.5	Pilaantuneen maaperän tutkiminen	16
4.6	Pilaantuneet maat, korttelit 2017 ja 2018	16
5	Pohjalaattaratkaisun kohde	18
5.1	Korttelin esittely	18
5.2	Kortteli 2017 pohjalaattaratkaisu	19

5.3	Pohjalaatan työvaiheet	20
5.3.1	Maanrakennus	20
5.3.2	Pontitus	21
5.3.3	Kallioankkurointi	22
5.3.4	Työbetonilaatan valu	22
5.3.5	Bentoniittimaton asennus	22
5.3.6	Raudoitus ja muottien teko	23
5.3.7	Vedenpainelaatan valu	23
5.3.8	Työvaiheiden riippuvuudet	23
5.4	Ongelmakohdat	24
6	Pohjalaattaratkaisun kohde	25
6.1	Korttelin esittely	25
6.2	Kortteli 2018 pohjalaattaratkaisu	27
6.3	Pohjalaatan työvaiheet	28
6.3.1	Maanrakennus	28
6.3.2	Pontitus	29
6.3.3	Työbetonilaatan valu	30
6.3.4	Bentoniittimaton asennus	31
6.3.5	Raudoitus ja muottien teko	32
6.3.6	Vedenpainelaatan valu	32
6.3.7	Työvaiheiden riippuvuudet	33
6.4	Ongelmakohdat	33
7	Kohteiden vertailu	34
7.1	Kustannusvertailu	34
7.2	Aikatauluvertailu	35
8	Riskiarviointi	38
9	Tulevaisuuden ratkaisumalli	40
10	Yhteenveto ja päätelmät	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. Kluuvin kaupunginosan asemakaava	

Lyhenteet

- XA2 Betonin rakenneluokka. XA-luokka tarkoittaa, että betoni kestää kemiallista rasitusta.
- XC2 Betonin rakenneluokka. XC-luokka tarkoittaa, että betoni suojaa raudoitusta korroosiolta sekä fysikaalisesti että kemiallisesti.

1 Johdanto

1.1 Lemminkäinen Talo Oy

Lemminkäinen Talo Oy on yksi suuri osa Lemminkäinen-konsernin toimialoista, joihin kuuluvat talonrakentamisen lisäksi infrarakentaminen, talotekniikka sekä kansainväliset toiminnot. Lemminkäisen talonrakentamisen palveluihin kuuluvat asuntorakentaminen, teollisuus- ja logistiikkarakentaminen, liike- ja toimistorakentaminen sekä korjausrakentaminen. Lemminkäinen on yksi Suomen suurimmista ja kokeneimmista talonrakentajista ja yli sadan vuoden kokemus Suomessa takaa korkealaatuisen rakentamisen. Lemminkäisen toimintaverkko kattaa koko Suomen. Suomessa Lemminkäisen painopistealueiksi talonrakentamisessa on otettu omaperusteinen asuntotuotanto, jota halutaan kasvattaa yli 50 prosenttiin toimialan liikevaihdesta. [1.]

1.2 Tutkimuksen taustaa

Lemminkäinen ja Etera voittivat Senaatti-kiinteistön järjestämässä tontinluovutuskilpailuissa Töölönlahden kortteleista kolmen kiinteistön tontit. Helsingin keskustassa Suomen liikennöidyimmän rautatieaseman välittömässä läheisyydessä alkoi täten yksi maan suurimmista rakennushankkeista. [2.]

Lemminkäinen toteutti kortteli 2017 sekä kortteli 2018 vierekkäisille tonteille samankaltaiset kokonaisuudet, jotka molemmat sisältävät toimistorakennukset sekä kaksi asuin-kerrostaloa. Töölönlahden ja junaradan läheisyydessä vedenpaine sekä junaliikenne aiheuttivat vaikeat olosuhteet rakennusten perustusrakentamiselle, tuoden täten omat haasteensa myös pohjarakentamiseen. Insinööritöä tehtiin, koska Lemminkäinen toteutti tonteille erilaiset pohjalaattaratkaisut, ja haluttiin tietää, miten ratkaisut lopulta erosivat aikataulullisesti sekä kustannuksellisesti.

1.3 Tutkimuksen tavoite

Insinööritöön tavoitteena on selvittää kahden erilaisen pohjalaattaratkaisun vaikutus kustannuksiin ja aikatauluun samankaltaisissa olosuhteissa vertailemalla toteuttamis-

tapojen toteutumia. Tavoitteena on tarkastelujen perusteella löytää toimiva ratkaisu tulevaisuutta varten vastaavankaltaisille toteutuksille. Tutkimuksen tavoitteena on myös ottaa huomioon vedenpaineen sekä junaradan vaikutukset perustusten rakentamiseen.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä työssä käytetään haastattelujen ja kohteista saatujen toteutumien lisäksi rakentamisen kirjallisuutta sekä Lemminkäisen dokumenttilähteitä. Työmaan toteutumia verrataan suunniteltuihin aikatauluihin.

1.5 Tutkimusraportin rakenne

Tutkimuksen alussa esitellään tutkimuksen tilannutta yritystä ja tutkimuksen taustaa ja tavoitetta. Tämän jälkeen tutkimuksen kirjallisuusosuudessa otetaan huomioon pohjaveden sekä radan vaikutukset rakentamiseen sekä käsitellään myös pilaantuneita maita ja niiden vaikutuksia rakentamisessa. Lisäksi teoriaosuudessa esitetään, miten pohjaveden ja radan vaikutukset on otettu huomioon tutkittuja tontteja rakentaessa sekä suunnitellessa, ja niihin tiedot ovat saatu alan kirjallisuudesta ja Lemminkäisen dokumenteista.

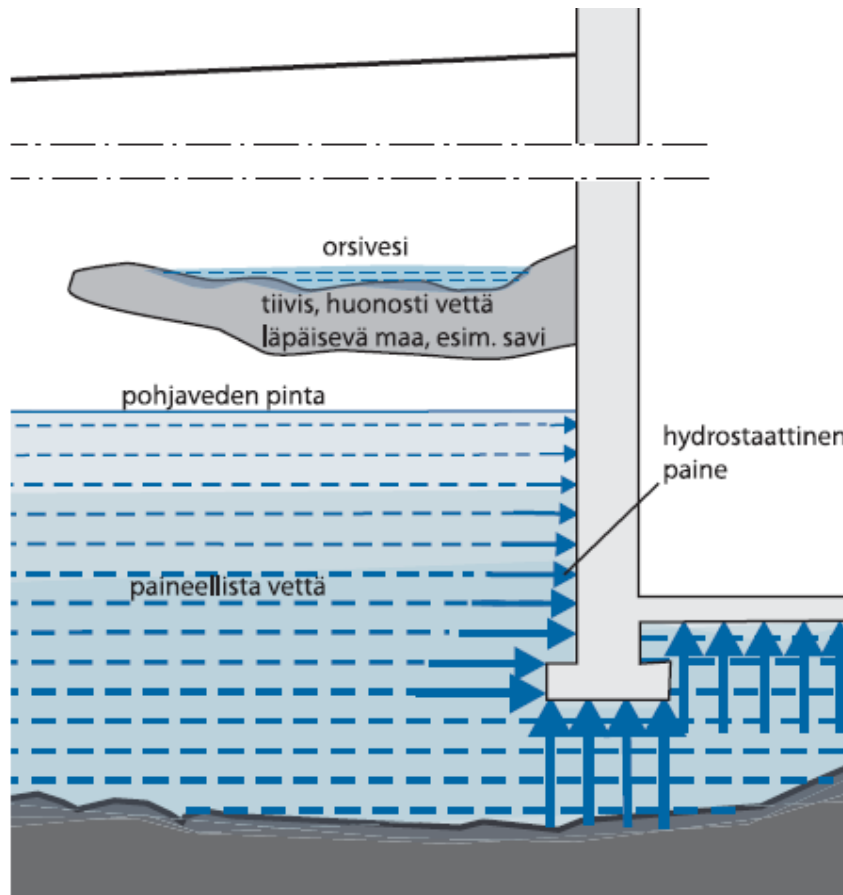
Tutkimuksen käytännön osuudessa esitellään tutkitut korttelit 2017 ja 2018 sekä niissä käytetyt pohjalaattaratkaisut. Lisäksi pohjalaattaratkaisujen työvaiheet ja niiden suorittaminen sekä eteneminen käydään läpi. Tutkimuksessa otetaan myös huomioon kohdatut ongelmakohdat. Lopuksi esitetään aikataulujen sekä kustannusten vertailu, joihin tiedot saatiin Lemminkäisen hankkeiden toteutumista.

Tutkimuksen lopussa esitetään toteutumien ja omien pohdintojen perusteella tulevaisuuden ratkaisumalli samankaltaisiin kohteisiin sekä yhteenveto tutkitusta aiheesta.

2 Pohjaveden vaikutus rakentamiseen

2.1 Veden esiintymismuodot maaperässä

Pintavesiksi kutsutaan sadevesiä ja lumensulamisvesiä niiden virratessa maanpinnalla ja rakennetuilla alueilla pohjarakennuksessa hulevesiksi. Pohjaveden yläpuolella maaperässä alaspäin laskeutuvaa vettä kutsutaan vajovedeksi ja se muodostaa uutta pohjavettä. Pohjavesi saa tukensa syvältä kallion uumenista ja se on maakerrosten läpi kallion rakoihin asti tunkeutunutta vettä. Pohjavesipinnan yläpuolella esiintyy joskus myös orsivettä, joka on muuta maaperää hienompirakeisemman maakerrostuman päällä lepäävää vettä. Orsiveden esiintymästä saattaa olla vielä useita metrejä varsinaiseen pohjavesipintaan. Vesi nousee maaperän huokosissa kapillaarisesti pohjavesipinnasta, joten maa ei ole kuivaa pohjavesipinnan yläpuolellakaan, vaikka vajoveksiä ei esiintyisi. Karkeassa sorassa kapillaarinousu on miltei olematon, kun taas savi- maassa se voi olla yli 10 metriä. [3, s. 36-37.]



Kuva 1. Veden esiintymismuotoja. [6, s.1]

2.2 Pohjavesi

Pohjaveden pinta Suomessa on yleensä noin 2-4 metrin syvyydessä maanpinnasta, mutta hyvin vettä läpäisevissä maissa se voi olla useammankin kymmenen metrin syvyydessä. Vesialtaiden ja jokien rannoilla pohjavesipinta yhtyy avoveden pintaan, kun taas maa-alueilla se myötäilee maaston muotoja. Pohjavesipinnan korkeus vaihtelee vuoden aikana, nousten sadeaikoina ja lumensulamisaikoina lähemmäs maanpintaa ja painuen kuivina jaksoina syvemmälle. Vuosittaiset erot ovat myös suuria. Pohjaveden pinta laskee usein kesän aikana, vaikka kesäkuukaudet ovatkin tilastollisesti sateisimpia. Syksyllä ilman viilennyttyä haihtuminen vähenee oleellisesti ja sillä on suuri merkitys pohjaveteen. [3, s. 42-44.]

Rakennusprojekteissa pohjavesipintoja mitataan useimmiten siiviläkärjellisillä putkilla, jotka pohjatutkimuslaitteella asennetaan paikoilleen pyrkien siihen, että siiviläosat ovat

varmasti pohjavesipinnan alla ja jossain vettä läpäisevässä kerroksessa. Putkia asennetaan niin monta, että saadaan tarvittava kuva pohjavesipinnan sijainnista. Rakennuskohteissa tieto pohjavesipinnasta on tarpeellisen ja se voi määrätä perustamisratkaisut työtapoineen ja lisäksi pohjavesipinnan asemalla on suuri merkitys geoteknillisissä laskelmissa. Pohjavesitietojen puuttuminen onkin aiheuttanut useita vahinkoja rakennuskohteissa. Ihanteellista olisi tehdä pohjavesihavaintoja vähintään vuosi, mutta usein rakentamisaikataulu pakottaa lyhyempiin mittausjaksoihin joiden pohjalta arvioidaan pidemmän ajan tilanteita. Laajemmissa kohteissa pohjavesihavaintoja tehdään kolmea tai useampaa putkea käyttäen, jolloin myös pohjaveden suunta saadaan selville, kun pienemmillä rakennustonteilla tasaisessa maastossa voidaan tyytyä yhteen havaintoputkeen. [3, s.43-44, s.276.]

Mikäli pohjavedenpinnan korkeuden muutoksista voi aiheutua haittaa rakennuspaikalla tai sen ympäristössä sijaitseville rakennuksille, rakenteille tai luonnolle, on pohjavesialtaan laajuus ja pohjaveden korvautuvuus selvitettävä. Muutoksien selvittäminen on erittäin tärkeää silloin, kun suunnitellaan tiloja, jotka ulottuvat ylimmän pohjavedenpinnan alapuolelle. Etenkin rakennuskaivannon ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle jatketaan pohjavesihavaintoja niin rakentamisen aikana kuin rakentamisen jälkeenkin. [4, s.3.]

2.3 Pohjatutkimus

Rakennusprojekteissa pohjatutkimuksella tarkoitetaan yleensä kokonaisuutta, johon kuuluvat rakennusalueen kartoitus, vaaitus ja varsinaiset pohjatutkimukset. Maankäyttö- ja rakennusasetuksen mukaisesti rakennuslupahakemukseen tulee liittää selvitys rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteista ja näiden edellyttämästä perustamistavasta ja muista tarvittavista toimenpiteistä. Pohjatutkimus tulee yleensä aina tehdä, mutta ns. helppoissa pohjarakennuskohteissa voi riittää pelkkä maastokatselmus. Näissäkin tapauksissa maastokatselmuksen perusteella tehdyt päätelmät rakennuspaikan pohjasuhteista tulee esittää kirjallisesti. Helppoissa ja vaativissa kohteissa voidaan tyytyä aikaisemmin tehtyihin pohjatutkimustietoihin, mikäli niitä pidetään pohjarakennesuunnittelijan mielestä riittävinä. Pohjarakennesuunnittelun kohteena on aina lopullisten rakenteiden perustaminen, sekä työn aikana syntyvien tilanteiden huomioiminen ja se,

ettei ympäristölle tai ympärillä oleville rakenteille aiheuteta vahinkoa. Pohjatutkimuksessa on selvitettävä rakennuspaikan pinnanmuodot, kalliopinnan sijainti, maakerrosten ominaisuudet sekä pohjavesisuhteet tarpeeksi riittävästi, jotta pohjarakenteet voidaan suunnitella ja rakentaa turvallisesti ja tarkoituksen mukaisesti. Pohjatutkimuspisteitä tulisi kohteen vaativuudesta ja pohjaolosuhteista riippuen olla 5-15 metrin jaolla ja ne tulisi sijoittaa raskaimmin kuormitetuille tai muuten tärkeille kohdille. [5, s. 13-14; 3 s.234.]

Rakennusalueen kartoituksessa esitetään tontin rajat ja rajapyykit sekä tontin vierellä kulkevat kadut jalkakäytävineen. Kartalla esitetään kaikki, mistä voi olla hyötyä suunnittelussa, kuten pohjatutkimuspisteet ja mahdolliset jo tontilla olevat rakennukset, vesi- ja viemärijohdot, kaivot ja kaapelit. Pohjatutkimuksessa maanpinta vaaitaan rakennusalueella riittävällä tiheydellä suunnittelun kannalta ja usein pyritäänkin saada piirrettyä korkeuskäyrät 0,5 metrin välein. Lisäksi kaikki pohjatutkimuspisteet on vaaittava. Nykyisillä laitteilla kartoitus ja vaaitus ovat varsin nopeita työvaiheita ja esimerkiksi takymetreillä saadaan samalla kerralla tutkittavan pisteen sijainti sekä korkeus. [3, s.234.]

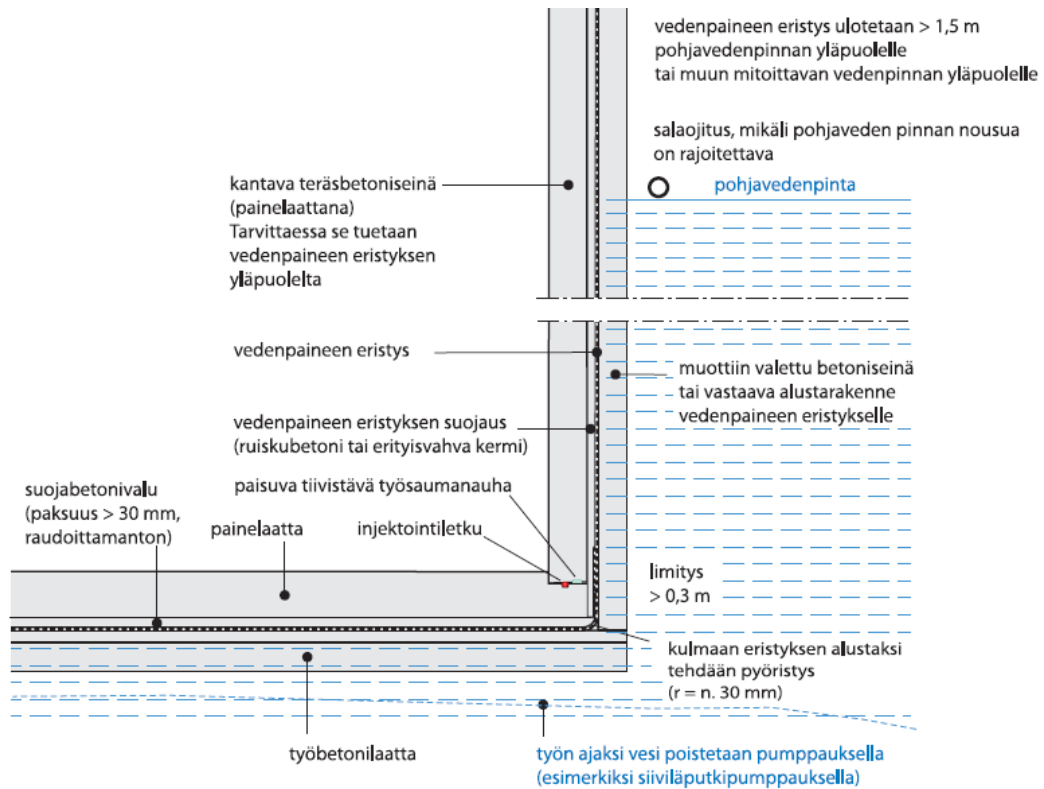
Pohjatutkimuksen keskeisin tavoite on selvittää rakennuspaikan maaperäolosuhteet niin, että rakennuksen perustaminen ja tarvittavat pohjarakennustyöt voidaan luotettavasti suunnitella ja turvallisesti toteuttaa sekä onko maaperässä esimerkiksi pilaantuneita maita. Pohjatutkimus tuottaa pohjarakennesuunnittelijalle maaperämallin, jonka avulla suunnittelija pääsee sijoittamaan rakennusta tontille ja on tietoinen ratkaisujen vaikutuksista. Maaperämallista selviää maanpinnan muodot, pohjavesipinta, maakerrokset, alla oleva pohja tai kallio tarpeellisine tietoineen. [3, s. 238-239.]

2.4 Vedenpaine

Vedenpaine muodostuu pohjavedenpaineesta. Nesteessä vallitsevaa nesteen oman painovoiman aiheuttamaa painetta kutsutaan hydrostaattiseksi paineeksi ja se on nesteen tiheyden, putoamiskiihtyvyyden ja nesteen korkeuden tulo. Esimerkiksi 1 metrin vedenpaine tarkoittaa 10 kN/m²:ä. Veden aiheuttamat rasitukset maanpinnan alapuolisille rakenteille voidaan jakaa maakosteuteen, paineettomaan veteen ja paineelliseen pohjaveteen. Suotovesi eli paineeton vesi suotautuu painovoiman vaikutuksesta maaperän läpi. Maakosteutta esiintyy maaperässä, joka läpäisee huonosti vettä, kun taas paineellista pohjavettä esiintyy hyvin vettä läpäisevässä maaperässä. [6, s.2.]

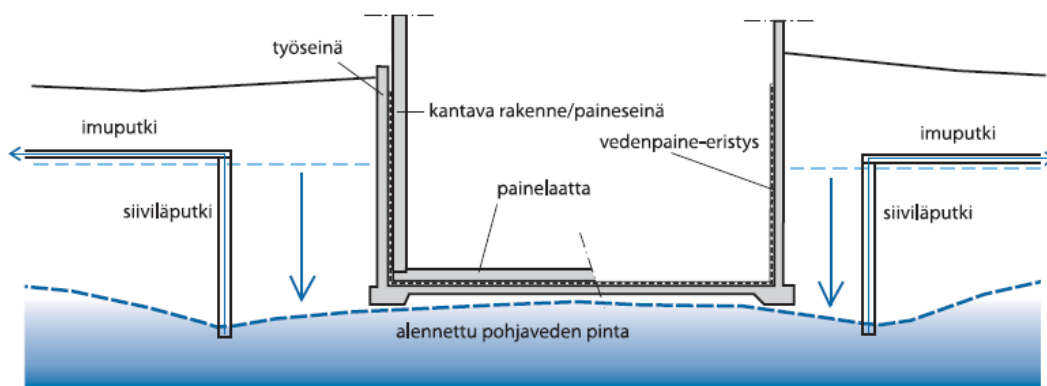
Vedenpaineen alaisen rakenteen on kestävä vedenpaineen aiheuttamat rasitukset suunnitellun käyttöajan ajan sekä estettävä paineellisen veden tunkeutuminen rakennusosiin. Rakenteen tulee myös kestää muita rasituksia, kuten maanpainetta ja hyötykuormia sekä työnaikaisia rasituksia. Työnaikaiseen suojaukseen tuleekin kiinnittää erityistä huomiota. Mikäli kantava rakenne ei itse ole vedenpitävä, tulee vedenpaineen alaisessa rakenteessa olla vedenpaineeneristys, joka mitoitetaan vedenpainetta vastaan esiintyvän hydrostaattisen paineen mukaisesti. Olosuhteista riippuen vedenpaineen alaiset maanalaiset tilat voidaan suunnitella siten, että hyväksytään hallittu veden vuoto ja rakennetaan vuotoveden poistojärjestelmä, josta vesi hallitusti ohjataan pois. [6, s.2.]

Vedenpaineeneristettävät rakenteet pyritään suunnittelemaan ilman liikuntasauvoja rasituksien välttämiseksi. Mikäli liikuntasauvoja ei voida välttää, suunnitellaan ne ta-pauskohtaisesti ja eristyksen korkea vaatimustaso otetaan huomioon. Vedenpaineeneristys suunnitellaan omina erikoissuunnitelmina mahdollisimman selkeästi, eikä niissä esitetä esimerkiksi raudoituksia. Vaakapintojen vedeneristys suojataan raudoittamattomalla rakennebetonilla, joka on vähintään 30 mm ja tämän suojabetonin päälle valetaan painelaatta. Pystypinnoilla vedeneristys nostetaan vähintään 300 mm pohjaveden pinnan korkeutta ylemmäksi. [6, s.2-4.]



Kuva 2. Vedenpaineeneristysten rakenne. [6, s.9]

Työnaikainen vedenpaineen alennus hoidetaan yhdellä tai useammalla pumppauskaivolla sekä riittävällä määrällä tarkastuskaivoja ja pumppaus tapahtuu yleensä eristettävän alueen ulkopuolelle. Vedenpinta pidetään eristettävän pinnan alapuolella eristystyön aikana niin pitkään, että painelaatta on saavuttanut tarvittavan lujuuden ja rakenteen paino on riittävä veden nostetta vastaan ja eristystyö on valmis. Pohjalaatta voidaan tarpeen mukaan myös ankkuroida vedenpaineen nostetta vastaan. Vedenpaineeneristysten valmistuttua on se tärkeää suojata välittömästi ja jatkuvan vedenpaineeneristysten suojaamiseksi suositellaankin käytettävän lämmöneristettä. Rakennuksen viereiset täytöt ja muut rakennuksen ulkopuoliset rakenteet ja niihin liittyvät työvaiheet suunnitellaan niin, etteivät ne haittaa vedenpaineeneristystyötä. [6 s.4.]



Kuva 3. Pohjaveden pinnan työnaikainen alentaminen. [6, s.4]

2.5 Vedenpaineen eristys

Vedenpaineeneristysten alusmateriaalin tulee olla luja ja lähes vesitiivis ja sen tulee toimia vedenpaineeneristysten kanssa yhdessä siten, että rakenne estää veden tunkeutumisen vuototapauksissa sisäpuolelle. Vesitiiviytensä takia betonirakenne soveltuu hyvin alustaksi, kun taas tiili- ja harkkorakenteet eivät ole vesitiiviitä rakenteita, eivätkä täten sovellu vedenpaineeneristysten pohjarakenteeksi. Pienissä kohteissa alustana voidaan käyttää teräsalustoja esimerkiksi hissikuilujen alaosissa. Betonialustan tulee olla kuiva, tasainen, pölytön ja sen vetolujuuden tulee olla vedeneristysten tartuntaa varten noin 1 N/mm^2 . [6, s.5.]

Vedenpaineeneristys voidaan tehdä esimerkiksi hitsattavasta bitumikermistä, masseristeistä tai bentoniittieristeestä. Eristystyö aloitetaan yleensä pohjalaatasta ja se tehdään joko suoraan pohjalaatan tai rakenteiden alle tehdyn työbetonilaatan päälle. Läpiviennit viemäreille ja muille putkistoille pyritään aina tekemään vedenpaineeneristysten yläpuolelle, mutta mikäli niitä joudutaan tekemään vedenpaineeneristysten läpi, täytyy ne suunnitella huolellisesti läpivienteihin tarkoitettuun erikoisosin. Eristystyössä noudatetaan valmistajan antamia ohjeita niin lämpötilojen kuin alustojenkin vaatimusten kohdalla. [6, s. 5-9.]

Erillistä eristystä ei tarvita, mikäli käytetään vesitiivistä betonia. Tämä tarkoittaa betonia, joka ei läpäise vettä. Vedenpitävien betonirakenteiden betonin huokosrakenteen on oltava epäyhtenäinen, jotta huokokset eivät muodosta yhtenäistä verkkoa, jota pitkin

vesi kulkisi ja tämän takia vesitiiviit betonirakenteet edellyttävät erityissuunnittelutaitoa. Betonirakenteen on oltava myös halkeilematon, mikä edellyttää myös vetorasitusten hallintaa. Betonin vesitiiviys perustuu betonimassan riittävään hienoainesmäärään ja vesitiiviys varmistetaan vesitiiviyksikeella. Hienoainesmäärään lasketaan yleensä sementit, seosaineet ja kiviaineen hienoainemäärä. Itsetiivistyvä betoni sisältää runsaasti hienoainesta ja onkin täten vesitiivistä jo muutamassa päivässä, kun taas normaalilujuusluokan betonit saavuttavat vesitiiviyden vasta 28 vuorokauden iässä. [6, s. 10.]

2.6 Pohjaveden hallinta Töölönlahden työmailla

Kortteleiden 2017 ja 2018 alueella havaittiin täyttökerroksessa olevaa orsivettä, sekä savikerroksen alapuolisessa moreenissa ja kalliassa liikkuva pohjavesi. Orsiveden pinta on vaihdellut alueella vuosina 2007 - 2010 $0...+1,3$ ja pohjaveden pinta tasolla $-0,4...+1$. Rakentamisen aikana pohjaveden eikä orsiveden pintaa saanut alentaa edes työnaikaisesti, sillä lähistöllä on puupaaluille perustettuja rakennuksia. Puupaaluille perustetut rakenteet voivat homehtua, mikäli ne eivät ole jatkuvasti pohjavesipinnan alapuolella. Rakennusten pysyvät rakenteet toteutettiin vesitiiviinä ja kellarin betonirakenteiden läpi mahdollisesti tihkuva vesimäärä koettiin niin pienenä, ettei se vaikuttanut ympäristön pohjavesipintaan alentavasti. Työnaikainen pohjaveden hallinta oli erittäin haasteellinen ja työn aikana tuli olla valmius korvausveden syöttämiseen pohjaveteen, mikäli pinta lähti alenemaan. Veden virtaus täyttömaakerroksessa katkaistiin teräsponttiseinin ja ponttiseinän läpi tihkuva vesi pumpattiin selkeyttämisen jälkeen takaisin pohjaveteen. Rakennusten mahdollinen padottava vaikutus veden virtaukseen estettiin tekemällä rakennuksen vierustäytöt sekä pohjalaatan alapuolinen täyttö hyvin vettä läpäisevästä karkeasta maa-aineksesta. Rakennustyön aikana pohjaveden pintaa seurattiin jatkuvasti tarkkailuputkien kautta ja seurantatulokset käytiin läpi työmaakokouksissa ja mahdollisiin muutoksiin reagoitiin viipymättä. [7.]

3 Radan vaikutus rakentamiseen

3.1 Yleistä

Junaradan läheisyys vaikuttaa työmaan toimintaan monella eri tavalla. Suurimpana vaikutuksena on työturvallisuudesta huolehtiminen, mutta myös tärinä, melu sekä sähkömagneettinen säteily tuovat tavalliseen työmaatoimintaan verrattuna lisää haasteita. Useat rakennustyömaan työvaiheet tapahtuvat sähköradan vaikutusalueella, jolloin niihin joudutaan kiinnittämään tavallista enemmän huomiota, jotta ne eivät aiheuta ongelmia ja viivästyksiä niin rakentamisessa itsessään, kuin junaradan päivittäisessä käytössä. Töölönlahden työmailla radan vaikutukset korostuvat erityisesti Suomen liikennöidyimmän rautatieaseman välittömästä läheisyydestä johtuen. Lähimmillään junaraide kulkee vain 5 metrin päässä rakennusten julkisivulinjasta ja tällä on merkitystä rakentamisen aikana sekä rakennusten valmistuttua melun ja tärinän minimoimiseksi. Radan läheisyys kasvattaa myös rakentamisen kustannuksia, kuten rataturvallisuudesta ja sähköistyksestä johtuvat menettelyt sekä pohjarakentamisen lisäkustannukset, joita ovat esimerkiksi ponttiseinät, pohjavedenhallinta, tärinän vaikutukset sekä juna kuormien vaatimat järeämmät rakenteet. [8.]

3.2 Melu

Rautatieliikenteestä aiheutuva melutaso voi olla paikallisesti melko korkea ja se eroaa tieliikenteen melusta siten, että se on usein ympärivuorokautista. Lisäksi raideliikenteen melussa on vähemmän matalia taajuuksia ja enemmän korkeita taajuuksia kuin tieliikenteessä. Melutapahtumien kesto on yleensä lyhyempi rautatieliikenteessä, mutta meluhuiput ovat korkeampia ja raideliikenteen melu koetaan yleensä vähemmän häiritseväksi kuin tieliikenteen melu. [9, s. 86-87.]

Töölönlahdella mitattiin ja laskettiin junaradan melulle keskiäänitasot, jotka jäävät rakennusten radanpuoleisilla sivuilla alle 65 dB ja yöllä alle 60 dB. Tuloksilla oli merkitystä rakennuksen enimmäisäänitasoon ja ääneneristävyyteen. Lähimpänä raiteita olevilta raiteiden osilta vaaditaan täten vähintään 35 dB ääneneristävyyttä ja muilta osin 30 dB. Lisäksi ulko-oleskelutasanteet on sijoitettava vähintään 10 metrin korkeudelle maanpinnasta ja varustettava umpinaisin parvekekaitein.

3.3 Tärinä

Tärinä voi aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista ja haittoja ihmisille. Rautatieliikenteen arvioidaan olevan suurin tärinän lähde Suomessa, joskin tärinähaitat ovat rataverkon vähäisestä laajuudesta johtuen vain alueellisia. Tällä hetkellä Suomessa ei ole asetettu raja-arvoa tärinälle, mutta asiaa tutkitaan. Rakennukset on yleensä suunniteltu otta-
maan vastaan painovoiman suuntaisia voimia, mikä tekee rakennukset herkemmi-
ksi vaakasuuntaisiin värähtelyihin, kuin pystysuuntaisiin värähtelyihin. Ihmisille tärinä voi
aiheuttaa lähinnä fysiologisia vaikutuksia, kuten unihäiriöitä ja keskittymisvaikeuksia,
sydämen toiminnan kiihtymistä, verenpaineen kohoamista, hengitystiheyden kasvua
sekä epämiellyttävää tunnetta. [9, s. 101-102.]

Tärinän vaikutus rakenteisiin riippuu rakenteiden tyypistä ja rakennustavasta ja koska
rakenteet on suunniteltu kestämaan tärinää, ne eivät ole yhtä herkkiä tärinälle kuin ih-
miset. Liikenteestä johtuvan tärinän ei ole todettu suoranaisesti aiheuttavan rakenne-
vaurioita, vaan useimmiten vaurioitumisen syynä on ollut useiden eri tekijöiden yhteis-
vaikutus. Rakennevaurioita voi syntyä esimerkiksi tilanteessa, jossa rakenteessa vallit-
see epävakaa tilanne, jonka liikenteestä aiheutuva tärinä laukaisee. Raskas liikenne
saattaa aiheuttaa myös maaperän painumista sekä maapenkereiden ja kaivantojen
vahingoittumista, jotka voivat johtaa uusiin rakennevaurioihin. Yleensä kuitenkin liiken-
teen tärinä aiheuttaa rakennuksille lähinnä kosmeettisia vaurioita, kuten hiushalkeamia.
[9, s. 101-102.]

Tärinän vaimentaminen rakenteellisin keinoin on mahdollista joko vaikuttamalla väylä-
rakenteisiin tai eristämällä tärinälle altistuva rakennus. Töölönlahden kohteissa raken-
nukset ovat tärinäeristettyjä, joten junaradan tärinä ei pääse aiheuttamaan rakenteille
haitallisia vaurioita. Junaradan tärinä voi aiheuttaa radan pohjien löystymistä ja tätä
kautta radan painumista, joten tärinän vaikutusta on seurattava tämän takia jatkuvilla
mittauksilla radan kiintopisteistä.

3.4 Sähköradan vaikutusalueen työvaiheet

Töölönlahden työmailla sähköradan vaikutusalueella suoritetaan useita työvaiheita ko-
ko rakentamisaikana. Kriittisimpinä niistä ovat kaivannot, niiden tuennat sekä teräs-
ponttiseinän asennus. Näiden lisäksi radan läheisyys tuo haasteensa torninosturilla

tapahtuviin työvaiheisiin, kuten elementtiasennukset, ikkuna-asennukset sekä julkisivun kivityöt ja rappaukset. Lisäksi jokainen työntekijä on velvollinen pitämään huolen, ettei rata-alueelle pääse kulkeutumaan rakennusmateriaaleja, jotka voisivat haitata rataliikennettä.

Rakennushankkeessa voi tulla myös tilanteita, jossa joudutaan louhimaan sähköradan läheisyydessä. Tällöin rakennuttaja suunnittelee yhteistyössä Liikenneviraston kanssa toimenpiteet junaliikenteen kulun turvaamiseksi, sekä radan rakenteiden ja laitteiden suojauksen. Mikäli louhintatyö ulottuu rata-alueelle, on siihen haettava myös lupa Liikennevirastolta. Töölönlahden työmailla louhintaa ei kuitenkaan jouduttu suorittamaan.

Radan läheisyydessä tehtävät kaivannot on pääsääntöisesti tuettava. Tukemisella pyritään estämään radan vaurioituminen sekä työntekijöiden turvallisuus. Tuetaan vaikuttavia asioita ovat kaivannon koko, maaperä sekä kaivantojen sijainti radasta. Kaivantojen tukemismenetelmiä ovat esimerkiksi settiseinä, kaivantotukielementit sekä teräsponttiseinät. Tukiseinämenetelmän valintaan vaikuttavat syvyyden, vesitiiviiden, käyttöiän, ympäristön sekä työmenetelmien ja työtilan lisäksi tukiseinän mahdollinen tarve lopullisen rakenteen osana.

Töölönlahden työmailla kaivantojen tukemiseen käytettiin teräsponttiseiniä. Teräsponttiseinän etuja ovat esimerkiksi ponttiprofiilien ja upotuskaluston helppo saatavuus, tukiseinän nopea rakentaminen sekä suunnittelijoiden ja rakentajien laaja kokemus teräsponttiseinärakenteista. Näiden lisäksi tukiseinän rakentaminen voidaan vaiheistaa ja täten ottaa huomioon junaliikenteen sujuvuus. Teräsponttiprofiileja voidaan myös käyttää uudestaan, mikä takaa teräsponteille pitkän käyttöiän sekä alhaiset kustannukset. Töölönlahdella myös vedenpaineen takia vesitiivis rakenne oli tarpeen ja ponttiseinä saadaankin vesitiiviiksi lyömällä raskaita U-profiileja ponttiin. Pontteja on myös mahdollista jättää maaperään. Teräsponttiseinä aiheuttaa usein raiteeseen painumia ja mikäli profiiliin lyönti ponttilukkoon ei onnistu pääsee maa-ainesta ja vettä valumaan profiilien välistä. Mikäli maa-ainesta kulkeutuu seinän takaa pois, aiheuttaa se raiteiden painumista, mikäli raidetta ei tueta riittävästi. Lemminkäinen tarkkaili ponttien asennuksen aikana sekä jälkeen raiteiden painumia ottamalla tarkemittauksia raiteista.

3.5 Työturvallisuus

Sähköradan läheisyys tiukentaa normaaleja työturvallisuuskäytäntöjä entisestään, sillä sähköradalla käytettävä 25 000 voltin suurjännite on hengenvaarallinen ja näkymätön vaara. Pienin sallittu työskentelyetäisyys kaikkiin sähköratarakenteisiin, johtimiin ja kääntöorsiin tulee säilyä työn jokaisessa eri vaiheessa, eikä mikään sähköä johtava esine saa alittaa edes hetkellisesti pienintä sallittua etäisyyttä. Sähköradan välittömässä läheisyydessä tapahtuvissa työvaiheissa työskentelevien henkilöiden tulee käydä päivän mittainen turvallisuuskurssi, josta saa ratatyöturvallisuus-pätevyyden, joka on voimassa viisi vuotta koulutuksesta. Kurssi antaa tietoa turvallisesta työskentelystä rata-alueella, auttaa tiedostamaan mahdolliset vaaratekijät sekä auttaa työntekijöitä tiedostamaan turvallisen työskentelyalueen rajat. Tämän lisäksi urakoitsijan täytyy laatia rataturvallisuussuunnitelma radan varressa työskennellessään. Ratatyön suojalot-tuman sisäpuolella työskenteleminen ilman ratatyölupaa tai turvamiestä on kielletty, eivätkä työkoneet saa ylittää rataa ilman lupaa ratatyöhön. Mikäli jonkin työkoneen liikkeet ulottuvat turvaetäisyyden sisäpuolelle, on pyydettävä jännitekatko. Tämän lisäksi nostureilla taakkojen nostaminen rata-alueella on kielletty ja taakkoja saa nostaa vain työmaa-aitojen sisäpuolella.

4 Pilaantuneet maat

4.1 Yleistä

Ympäristönsuojelulain mukaan maaperä on pilaantunut, jos maahan on jätetty tai päästetty jätettä tai ainetta, jonka seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, viihtyisyyden melkoista vähentymistä tai muut niihin verrattavaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta. [10.]

Maaperän pilaantuminen on seurausta ihmisen toimintojen aiheuttamasta lisäkuormituksesta maaperään. Ympäristönsuojelulain mukaan jätettä tai muuta ainetta ei saa jättää tai päästää maaperään siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle tai viihtyisyyden melkoista vähenemistä. [11.]

Maaperän pilaantuneisuutta arvioidaan maanäytteiden haitta-ainepitoisuuksia vertaamalla ympäristöministeriön ohje- ja raja-arvoihin. Maaperän haitta-aineista johtuvia terveys- tai ympäristöhaittoja voidaan myös arvioida laskentamalleihin perustuvilla riskinarviointimenetelmillä. Maaperän puhdistamiseen voidaan ryhtyä tekemällä siitä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle. Ympäristökeskus tekee ilmoituksen johdosta päätöksen, jossa voidaan antaa määräyksiä toiminnan järjestämisestä ja valvonnasta. Tämän lisäksi pilaantuneen maan käsittelytoiminnalle on oltava ympäristölupa. [10.]

4.2 Pilaantumista aiheuttava toiminta

Maaperä voi olla pilaantunut paikallisesti esimerkiksi vahinkotapauksen tai onnettomuuden vuoksi tai vähitellen normaalin toiminnan ympäristöpäästöjen seurauksena. Maaperään on voinut joutua haitallisia aineita kaikesta toiminnasta, jossa on käsitelty haitallisia aineita eikä voida olla varmoja, onko aineiden leviäminen ympäristöön estetty. Mikäli alueella on ollut esimerkiksi teollista toimintaa, jätteiden käsittelyä, öljyjen tai kemikaalien varastointia ja kuljetusta, kaivostoimintaa tai maa-, ilma- tai vesiliikennettä ja sitä palvelevia toimintoja, voi maaperä olla pilaantunutta. Pilaantunut maaperä voi aiheuttaa riskejä maankäyttöön ja pohjaveteen. [12.]

4.3 Yleisimmät maaperää pilanneet aineet

Maaperän puhdistamista koskevien hallintopäätöksien mukaan maaperää ovat yleisimmin pilanneet öljyhiilivedyt ja raskasmetallit tai molemmat yhdessä. Muita maaperää pilanneita aineita ovat mm. kloorifenolit, furaanit ja dioksiinit, liuottimet ja torjunta-aineet. [12.]

4.4 Pilaantumisen aiheuttamat riskit

Pilaantuneelta maa-alueelta haitta-aineet voivat levitä maaperässä laajemmalle alueelle tai ne voivat kulkeutua ilmaan, pohjavesiin, vesistöihin tai joskus myös vesistöjen pohjasedimentteihin. Haitallisten vaikutusten ilmeneminen eliöissä edellyttää sitä, että joutuu kosketuksiin haitta-aineiden kanssa esim. hengitysilman, juomaveden, ravinnon tai ihon kautta tapahtuvan altistumisen kautta.

Pohjavesialueilla on maa-alueita, joiden maaperä on mahdollisesti pilaantunut, todettu pilaantuneeksi tai puhdistettu, kaikkiaan noin 4000 kpl. Näistä noin 3300 kpl sijaitsee I luokan pohjavesialueilla, runsaat 400 kpl II luokan pohjavesialueilla ja III luokan pohjavesialueilla yli 200 kpl. Ensimmäisen luokan pohjavesialueilla sijaitsevista kohteista 520 on kunnostettu tai todettu puhtaiksi. [12.]

4.5 Pilaantuneen maaperän tutkiminen

Pilaantuneiden alueiden tutkiminen ja kunnostus tulevat useimmiten ajankohtaisiksi, kun alueita kaavoitetaan uuteen käyttöön tai niille ryhdytään rakentamaan. Helsingissä useat teollisessa käytössä olleet alueet ovat jo muuttuneet asuinkäyttöön. Suuria kunnostuskohteita ovat olleet esimerkiksi Ruoholahti, Arabianranta, Malmin ampumarata ja Herttoniemen öljysatama. [11.]

Maaperän pilaantuneisuus selvitetään yleensä jo kaavoitusvaiheessa. Tällöin arvioidaan myös alueen alustava kunnostustarve ja kunnostuksen kustannukset niin, että niihin osataan varautua rakentamisvaiheessa. Uusien rakentamisalueiden tutkimus- ja kunnostustarpeet on alustavasti kartoitettu yleiskaava 2002 valmistelun yhteydessä. Alueiden toteutussuunnittelun yhteydessä selvityksiä ja kunnostussuunnitelmia yleensä tarkennetaan. [11.]

Yleisin maaperän kunnostusmenetelmä on ollut pilaantuneen maan poistaminen, jolloin maa-aines on kaivettu pois ja viety luvanvaraisille käsittely- ja loppusijoituspaikoille esimerkiksi kompostoitavaksi, pestäväksi tai poltettavaksi. Lievästi pilaantuneita maita on käytetty hyödyksi myös kaatopaikoilla jätteiden peittomaana. [11.]

4.6 Pilaantuneet maat, korttelit 2017 ja 2018

Korttelien 2017 ja 2018 tonttien alueella suoritettiin maaperätutkimus vuonna 1999, jatkotutkimus vuonna 2005 sekä kortteli 2018 tontille lisätutkimus vuonna 2011. Tutkimusalue oli noin 16 000 m², jossa oli maaperäkartan mukaan täyttöä yli 3 metriä ja täytön alapuolella savea. Aikaisemmassa tutkimuksessa maaperää tutkittiin kairaamalla 13 pisteessä ja analysoimalla kairatuista näytteistä maaperän haitta-aineita. Tällöin kahdessa pisteessä todettiin raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia. Näiden lisäksi kahdessa

pisteessä oli ohjearvon ylittäviä raskasmetallien pitoisuuksia. Vuonna 2005 tehdyssä jatkotutkimuksessa näytteitä kairattiin 10 pisteestä ja pisteiden paikat oli valittu täydentämään aikaisempaa tutkimusta. Näytteenotto ulotettiin täytön alapuoliseen perusmaahan ja näytteitä otettiin pintamaasta ja sen alapuolelta. Vuonna 2011 suoritettussa tutkimuksessa otettiin maaperänäytteitä 6 tutkimuspisteestä alueella, joka toimi autojunien lastausalueena korttelissa 2018. [13, 14.]

Tutkimukset osoittivat alueen maaperän pilaantuneen enemmän tai vähemmän pisteittäisesti sekä koko alueella olevan täyttömaata 2.5-5 m, paikoin enemmänkin. Korkeimmat raskasmetallipitoisuudet olivat täyttömaassa, mikä viittaa raskasmetallipitoisuuksien tulleen varhaisempien täyttömassojen mukana. Maaperässä todettiin olevan raskasmetalleja kuten lyijyä ja sinkkiä yli ohjearvon ylittäviä pitoisuuksia. Näitä pitoisuuksia esiintyy tyypillisesti kaupunkialueilla esimerkiksi liikenteen tai vanhojen täyttömassojen johdosta. Tutkimusalueet eivät sijaitse tärkeällä pohjavesialueella, vaan lähin pohjavesialue sijaitsee kohteesta noin 6 km kaakkoon Santahaminassa ja alueen pohjavesi on noin tasolla +0,5. Alueen pohjavesiä ei käytetä juomavetenä, joten altistuminen haitta-aineille pohjaveden kautta on epätodennäköistä. [13, 14.]

Kunnostussuunnitelmassa tarkasteltiin alueen pilaantuneisuutta ja tulevan kaavan mukaista rakentamista. Selvästi raja-arvon ylittävät haitta-ainepitoisuudet poistettiin kunnostuksen yhteydessä ja ohje- ja raja-arvon välillä olevat pitoisuudet käsiteltiin tutkimuspisteittäin ja niiden riskit arvioitiin. Ohjearvoja lievästi ylittävät massat jätettiin paikoilleen, mikäli haitta-aineet olivat yli metrin maakerroksen alla, eikä niissä suoritettu maankaivuja. Korttelien 2017 ja 2018 alueilla todetut lievästi pilaantuneet maat sijaitsivat rakennusten ja kellaritilojen kohdalla, joten ne poistettiin.

Urakoitsija laati työmaasuunnitelman, ja ennen kunnostusta pidettiin aloituskokous, jossa käytiin läpi työn kulku. Kaikki pilaantuneet maat eroteltiin puhtaasta maa-aineksesta ja pilaantuneet maat kuljetettiin tilaajan ilmoittamaan vastaanottopaikkaan peitetyn kuormin.

5 Pohjalaattaratkaisun kohde

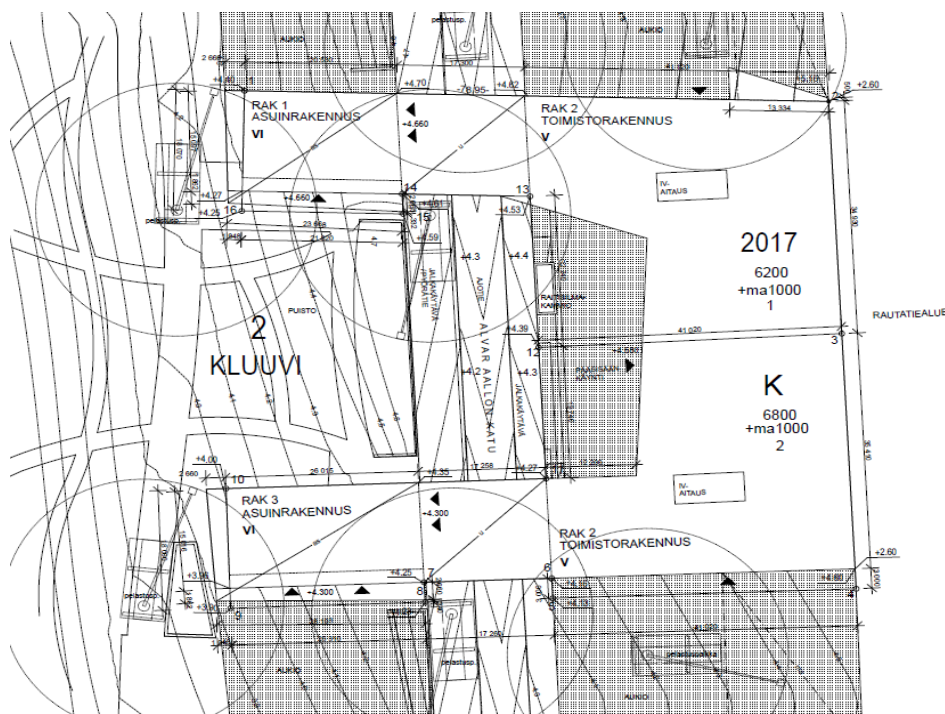
5.1 Korttelin esittely

Kortteli 2017 sijaitsee Töölönlahdella Kluuvin kaupunginosassa aivan Helsingin rautatieaseman välittömässä läheisyydessä. Lemminkäinen rakensi tontille kaksi asuinkerrostaloa sekä toimistorakennuksen ja kohteet valmistuivat vuonna 2012 sekä 2013.



Kuva 4. Kohteiden sijanti. [17.]

Toimistorakennus on viisikerroksinen ja on kokonaispinta-alaltaan 15123 m² ja asuin-kerrostalot ovat kuusikerroksisia ja pinta-aloiltaan 2684 m² sekä 2174 m². Tontin pohjoispuolelle kortteliin 2018 rakennetaan niin ikään toimistorakennus sekä kaksi asuin-kerrostaloa. Toimistorakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on aulatilojen lisäksi henkilöstöravintola sekä toimistotiloja ja ylemmät kerrokset ovat toimisto- ja neuvottelutiloja. Toimistorakennuksen ja asuinrakennuksen välissä kulkee Alvar Aallon katu, joka jatkuu aina kortteliin 2018 asti. Tontin eteläpuolelle sijoittuu toimistorakennus, jonka rakentaminen alkoi vuonna 2012. Yhdessä nämä työmaat muodostavat Töölönlahden läheisyyteen yhden Suomen suurimmista rakennushankkeista. Haasteita tontilla rakentamiseen toivat Suomen vilkkaimmasta rautatieasemasta johtuva jatkuva rataliikenne sekä Töölönlahden läheisyydestä johtuva vedenpaine, jonka alapuolelle perustukset ja pohjalaatta rakennettiin.

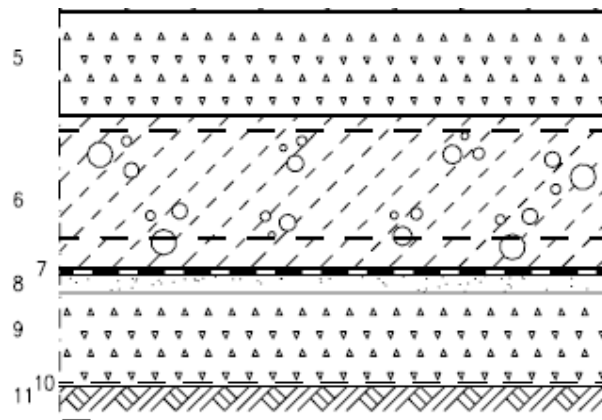


Kuva 5. Kortteli 2017 tonttijako. [16]

5.2 Kortteli 2017 pohjalaattaratkaisu

Kortteli 2017 päädyttiin ratkaisuun, jossa alapohjalaatta, joka perustettiin teräsbetonipaalujen varaan, ankkuroidiin kallioon kallioankkureilla vedenpaineesta johtuvan nosteen takia. Koska vedenpaineesta johtuva noste on suuri, vaaditaan rakennukselle

raskasta rakennetta ja kallioon ankkurointi kevensi alapohjalaatan rakennetta. Tämä ratkaisu lisäsi paalutustyötä toimistorakennuksen kohdalla, mutta vähensi huomattavasti betonointia ja sen raudoituksen määrää verrattuna tasapaksuun massiivilaattaan, jota ei olisi ankkuroitu. Alapohjalaatta ei ollut tasapaksu, vaan maanrakennusvaiheessa pohjamaa muotoiltiin kiilamaisiin muotoihin, jonka muotoon ja teräsbetonipaalujen vaaraan myös alapohjalaatta valettiin. Pohjamaan muodon vaihtelu teki raudoituksesta haastavaa ja melko hitaasti toteutettavaa.



Kuva 6. Korttelin 2017 alapohjatyypin [16.]

Kuvassa 6 esitetään rakenneleikkauskuva alapohjalaatasta, joka koostuu alhaalta ylöspäin järjestyksessä seuraavista: perusmaa, suodatinkangas, kantava murske, työbetoni, bentoniittimatto, kantava teräsbetonilaatta, salaojitus.

5.3 Pohjalaatan työvaiheet

5.3.1 Maanrakennus

Maanrakennusvaihe sisälsi pohjarakennustyöt eli paalutuksen sekä kaivuutyöt kuten tontin raivauksen, taso- ja tilavuuskaivuut ja kanaalikaivuut sekä pilaantuneiden maanainesten erottelun ja pois kuljettamisen. Tontin raivauksen ja pilaantuneiden maanainesten poiston jälkeen suoritettiin kaivantojen tukeminen teräsponttiseinillä, jonka jäl-

keen tontilla paalutettiin teräsbetonipaaluin. Tämän jälkeen rakennuspohjaa vahvistettiin kantavalla murskekerroksella, joka levitettiin suodatinkankaan päälle.

Maankaivu tehtiin teräsponttiseinien sisäpuolella tasolle -1.0... -2.1. Kaivun tuli edetä tasaisesti, eikä yli 2 m suuria korkeuseroja saanut syntyä kaivannon edetessä alueella.

Paalutus toteutettiin 300 x 300 teräsbetonipaaluilla, rasitusluokka XA2 sulfaatin kestäväällä sementillä, sillä maaperä oli kemiallisesti aggressiivinen. Paalutusta varten kaivannon pohjalle tehtiin noin 0,5 m vahvuinen työalusta, jonka päälle levitettiin suodatinkangas. Paalut olivat keskimäärin 18 metrin pituisia ja niitä lyötiin maahan yhteensä yli 660 kappaletta. Paalutustyö aloitettiin toimisto-osasta ja asunto-osien paalutustyö tapahtui vasta kun toimisto-osan laatta oli valettu. Paalutustyöstä aiheutuvaa tärinää tarkkailtiin rakennusalueen läheisyydessä, sillä esimerkiksi rata-alueen laitteet olivat herkkiä tärinälle ja paalutus aiheuttaa maanpinnan painumia, joten niitä oli tarkkailtava jatkuvasti ja mahdolliset painumien korjaukset tehtävä välittömästi.

5.3.2 Pontitus

Maanrakennusvaiheen kaivannot tuettiin teräsponttiseinin, jotka ankkuroitiin kallioon. Tukiseinät ankkuroitiin kallioon punosankkureilla, jotka koevedettiin 2280 kN voimalla. Ankkureita asennettiin k/k 4,8 m välein ja ankkurit juotettiin kallioon vähintään 5 metrin syvyydelle. Teräspontit lyötiin 2,5 metrin etäisyydelle tulevasta ulkoseinästä. Osa kohteen teräsponteista oli väliaikaisia, kun taas radan sivun ponttiseinät jätettiin maahan myös rakentamisen jälkeen. Ponttien minimitaivutusvastus työnaikaisille seinille oli $w = 1200 \text{ cm}^3$ ja radanpuoleisille seinille $w = 2000 \text{ cm}^3$. Radan viereinen pontitus tapahtui pääsääntöisesti yöaikaan, jotta työvaiheen vaatimat radan jännitekatkot saatiin suoritettua mahdollisimman vähän junaliikennettä haittaavaksi. Jännitekatkot täytyi tehdä, sillä pontit saattoivat kaatuessaan ulottua radan tai jännitteellisten sähkörtarakenteiden päälle. Lisäksi ponttiseinä maadoitettiin kyseisten rakenteiden vuoksi. Työaikaiset pontit saatiin poistaa, kun kellarikerros oli rakennettu ja rakennuksen ympärille rakennettavien paalulaattojen työalustat olivat rakennettu. Myös pontitus aiheuttaa painumia maanpintaan ja junaraiteisiin, joten painumia tarkkailtiin ja mitattiin päivittäin. [15.]

Ponttiseinillä ympäröity kaivanto esti orsivesien pääsyn kaivantoon ja työnaikainen kuivatus suoritettiin kaivannosta pumpaamalla. Kaivannosta pumpattua vesimäärää ja vedenlaatua seurattiin ja ne kirjattiin ylös. Kaikki pumpatut vedet tuli imeyttää takaisin

ponttiseinien ulkopuolelle ympäröivään maaperään ja ennen takaisin pumppaamista vedet tuli selkeyttää selkeytysaltaassa. Lyhytkestoisesti kaivantoon kertyvät suuret vesimäärät, kuten rankkasateista johtuvat tai rakentamisen alkuvaihe orsiveden kyllästämässä täytössä, pumpattiin hulevesiviemäriin imeytyksen sijasta. Pohjavedenpintaa havainnoitiin kaivantovaiheessa viikoittain, kunnes työnaikaiset ponttiseinät poistettiin ja tämän jälkeen kerran kuukaudessa.

5.3.3 Kallioankkurointi

Teräsponttiseinien ankkuroinnin lisäksi alapohjalaatta ankkuroitiin kallioon, jotta alapohjarakenteesta saatiin kevyempi vähentämällä raudoitusta ja betonointia. Vedenpaineen noste on niin suuri, että ilman kallioankkurointia pohjalaatan rakenteesta olisi pitänyt saada huomattavasti raskaampi, jotta se olisi pysynyt paikoillaan. Alapohjalaatan kallioankkurit porattiin kallioon, jonka jälkeen ne injektoitiin sementillä. Yhteensä alapohjalaatan kallioankkureita oli 40 kpl.

5.3.4 Työbetonilaatan valu

Ennen varsinaista vedenpainelaattaa valettiin työbetonilaatta, joka on noin 50 mm paksu raudoittamaton laatta. Työbetonilaatta valettiin suodatinkankaan päälle sen jälkeen, kun pohjamaa oli muotoiltu lopulliseen muotoonsa.

5.3.5 Bentoniittimaton asennus

Vedenpainelaatan eristykseen käytettiin bentoniittimattoa, joka koostuu tavallisesti kahdesta polypropeenikuitukankaasta ja niiden välissä olevasta bentoniittikerroksesta, joka on bentoniittisavea. Bentoniitti on pehmeää ja erittäin helposti muovattavaa erikoissavea, ja se pystyy absorboimaan suuria vesimääriä ja laajenemaan sen seurauksena jopa kymmenenkertaiseksi. Kastuessaan bentoniitti laajenee voimakkaasti ja savi tiivistää pienetkin halkeamat ja muodostaa yhtenäisen ja tiiviin pinnan. Bentoniittimatto asennetaan työbetonin päälle, jonka täytyy olla mahdollisimman suoraviivainen ja selkeä ja matto kiinnitetään tarvittaessa naulaamalla alustaan. Matot saumataan toisiinsa limittämällä, ja minimi limityspituus on 30 cm. Yhdessä alusrakenteen kanssa bentoniitti muodostaa vedenpainetta kestävä kerroksen. Bentoniittimaton käyttö oli suositeltavaa tontilla, sillä tontin maaperä oli kemiallisesti aggressiivista ja matto suojaa painelaattaa,

joten maton kanssa alapohjaa voitiin käsitellä rasiitusluokassa XC2, betonilujuuden ollessa K40. Ilman mattoa olisi alapohjaa pitänyt käsitellä luokassa XA2, betonilujuuden ollessa K45, joten maton käyttö alensi myös betonin lujuutta. Näiden lisäksi maton käyttö antoi lisävarmuutta, mikäli betonityö ei täysin onnistuisi halkeilun takia ja laatan läpi pääsisi tihkumaan vettä. Bentoniittimaton asennus tapahtui lohkoittain aina työbetonilaatan valujen tapahduttua. [6, s.10.]

5.3.6 Raudoitus ja muottien teko

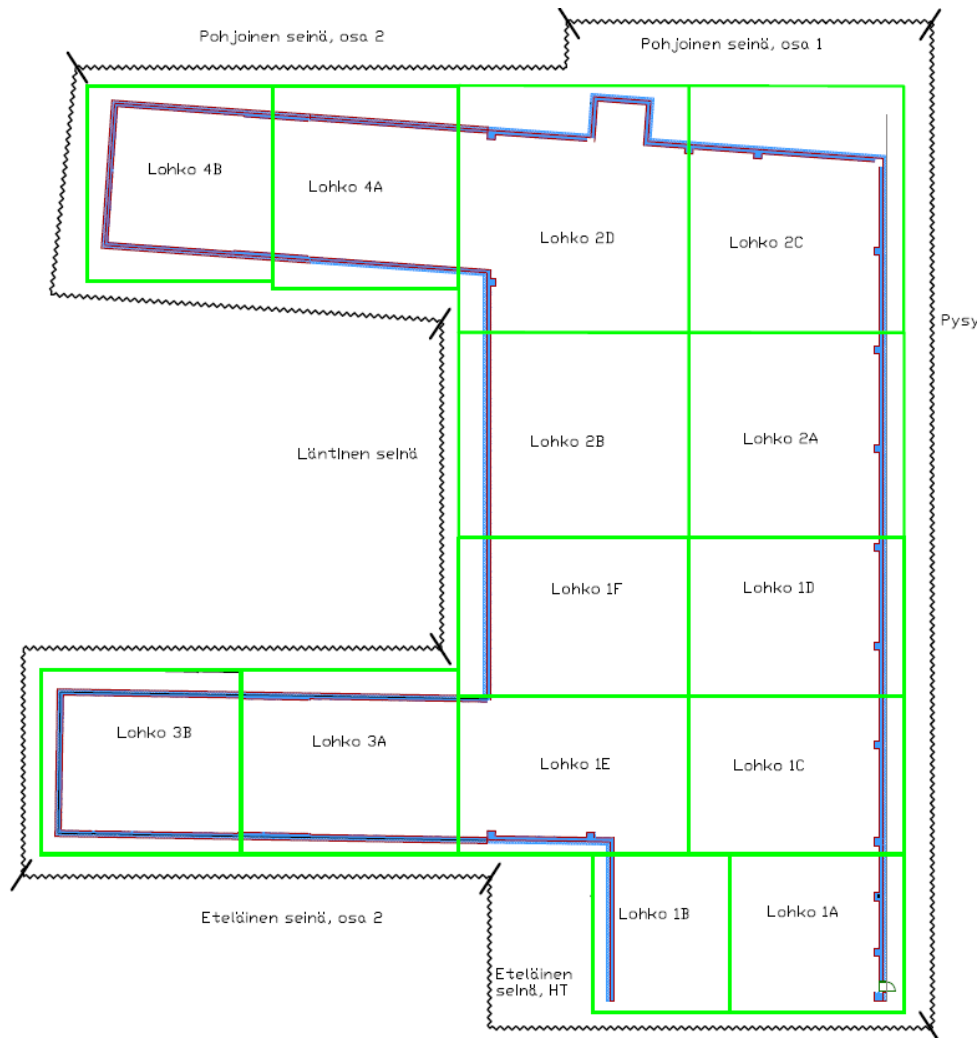
Raudoitusta pohjalaatta varten tuli noin 174 kg/m^3 eli yhteensä lähes 340 000 kg. Koska vedenpainelaatan valut tehtiin lohkoissa, tehtiin valuja varten muotteja lähes 700 jm. Lohkot raudoitettiin yksi kerrallaan edeten suunnitellussa järjestyksessä, jonka jälkeen raudoitus jatkui seuraavassa lohkoissa.

5.3.7 Vedenpainelaatan valu

Kun kaikki edeltävät työt oli lohkoissa saatu tehtyä, valettiin 500 mm paksu vedenpainelaatta, joka oli paaluanturoiden kohdalla 1230 mm paksu. Lohkojen valumäärät vaihtelivat noin 200 m^3 - 500 m^3 ja lohkot valettiin useaa betonipumppua käyttäen. Yhteensä vedenpainelaatan valuihin meni betonia noin 3900 m^3 .

5.3.8 Työvaiheiden riippuvuudet

Pohjalaatan työvaiheet ja niiden suoritus käynnistyivät maanrakennusvaiheella, pontituksella sekä paalutuksella, joiden jälkeen työt suoritettiin lohkoissa. Yhteensä lähes 4800 m^2 kokoinen pohjalaatan alue jaettiin 17 lohkoon, joissa eri työvaiheet suoritettiin peräkkäin painelaatan valuun asti, jonka jälkeen siirryttiin seuraavaan lohkoon. Lohkojaon etuna on työn jouheva eteneminen työvaiheittain ja täten päästiinkin esimerkiksi raudoittamaan seuraavaa lohkoa kun edelliseen valettiin vielä painelaattaa.

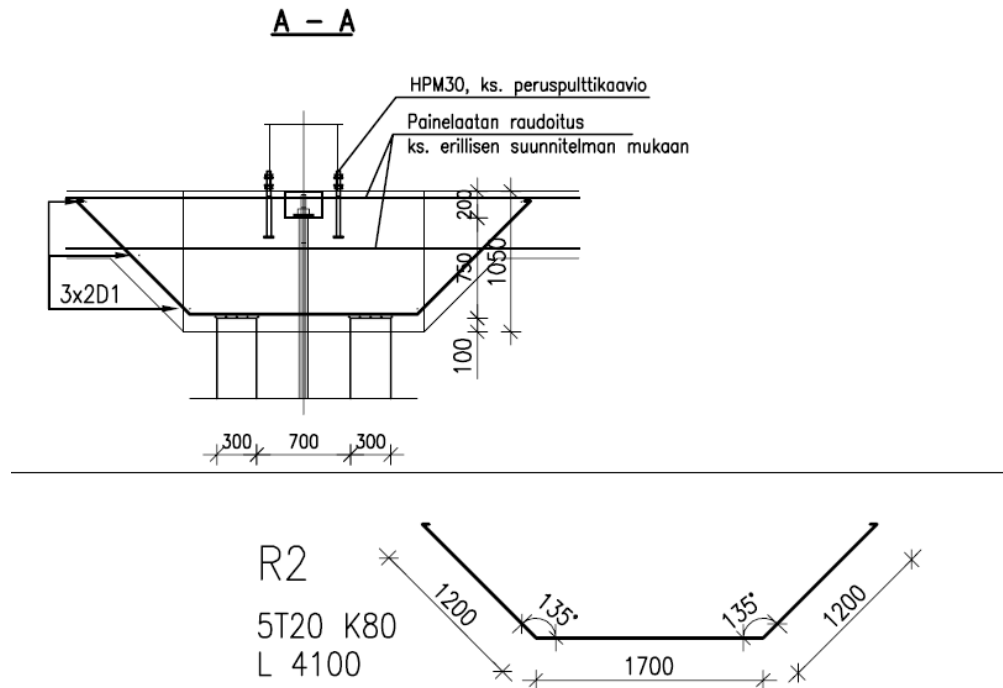


Kuva 7. Tontin 2017 lohkojako. [16.]

5.4 Ongelmakohtat

Ongelmakohtina pohjalaatan eri työvaiheissa olivat pohjavedenhallinta ja sen pumppaus sekä rauditus. Pohjaveden pumppaus oli erittäin vaativa, sillä pohjavesi nousi tontille rakennustöiden aikana voimakkaasti. Lisäksi vettä pääsi tihkumaan ponttiseinien nurkista pontitetun alueen sisäpuolelle ja tämä aiheutti lisätöitä. Rauditus koettiin haastavana pohjamaan muotoilun takia, sillä maa sekä pohjalaatta eivät olleet kauttaaltaan tasaisia, vaan pohjalaatta perustettiin anturoille ja anturoita varten maapohja muotoiltiin paikoitellen kiilamaisiin syvennyksiin, jolloin rauditus oli vaikea monimutkainen ja vaikea suorittaa. Kuvassa 8 selvennetään pohjalaatan anturaperusta ja sen muotoa,

jotka aiheuttivat haasteita verrattuna tasapaksuun laattaan. Lopulta pohjalaattatyö myöhästyi alkuperäisestä aikataulusta kolme työpäivää.



Kuva 8. Paaluanturan periaate ja muoto. [16.]

6 Pohjalaattaratkaisun kohde

6.1 Korttelin esittely

Kortteli 2018 sijaitsee Töölönlahdella Kluuvien kaupunginosassa, korttelin 2017 pohjoispuolella. Aikaisemmin tontilla toimi junien autolastauslaituri, joka purettiin ennen korttelin rakennustöiden aloittamista vuonna 2012. Tontin 2017 tapaan Lemminkäinen rakentaa kortteliin 2018 toimistorakennuksen sekä kaksi asuinkerrostaloa joiden kerrosalat yhteensä ovat 15018 kem². Toimistorakennus on viisikerroksinen ja sen ensimmäisessä kerroksessa on aulatilojen lisäksi henkilöstöravintola sekä toimisto- ja neuvottelutiloja. Asuinrakennukset ovat kuusikerroksisia ja ensimmäisessä kerroksessa molemmis-

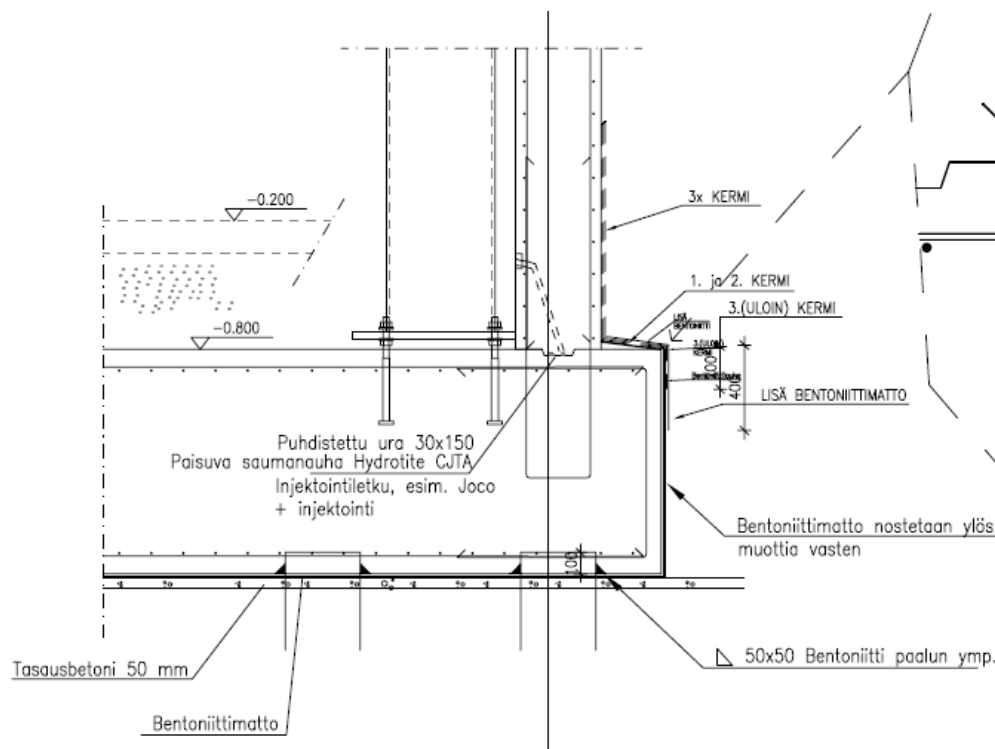
sa rakennuksissa on liiketiloja. Rakennusten alla olevassa kellarissa sijaitsee toimistojen ja asuntojen autopaikat. Lisäksi tontin eteläpuolella katuaukion alle rakennetaan kellaritiloihin autopaikkoja sekä varasto. Myös kyseisellä tontilla kulkee Alvar Aallon katu toimistotalon ja asuintalon välissä, päättyen pohjoisimpaan asuintaloon Töölönlahdella.



Kuva 9. Tonttiosuudet kortteli 2018. [16.]

6.2 Kortteli 2018 pohjalaattarakaisu

Korttelissa 2018, jossa olosuhteet olivat täsmälleen samanlaiset verrattuna kortteliin 2017, päädyttiin erilaiseen pohjalaattarakaisuun. Korttelissa 2017 alapohjalaatta ankkuroitiin peruskallioon, kun taas kortteli 2018 tehtiin kauttaaltaan 1050 mm paksulla massiivilaattalla, joka perustettiin teräsbetonipaalujen varaan. Alapohjalaatan yläpinta sijaitsee -0,8... -1,0 metrin tasossa. Tämä ratkaisu tarkoitti määrällisesti suurempaa betonointi- ja raudoitustyötä, mutta mahdollisti yksinkertaisemmat pohjalaatan työvaiheet, sillä esimerkiksi rauditus oli huomattavasti yksinkertaisempi ja helpompi työvaihe tasapaksulla laattalla ja yksi työvaihe voitiin jättää kokonaan pois, joka oli alapohjalaatan ankkurointi. Toisaalta suuremmat betoni- ja rauditusmäärät toivat lisää kustannuksia, mutta myös raskaamman rakenteen, jolloin alapohjalaattaa ei tarvinnut ankkuroida kallioon vedenpaineen nostetta kestääkseen. Muilta osin pohjalaatta ja sen työvaiheet olivat samanlaiset edelliseen kortteliin 2017 verrattuna.



Kuva 10. Alapohjalaatan leikkauskuva [16.]

6.3 Pohjalaatan työvaiheet

6.3.1 Maanrakennus

Maanrakennus tapahtui kuten tontilla 2017 sisältäen paalutuksen, ponttiseinien asennuksen sekä maankaivuut ja pilaantuneiden maiden poistot. Maanrakennustyöt alkoivat kesällä 2012 pintamaiden raivauksella ja esikaivulla enintään 1 metrin syvyyteen, jonka yhteydessä suoritettiin pilaantuneiden maiden poistot. Tämän jälkeen urakoitsija suoritti kaivannot tuettuna kaivantona, jonka syvyys oli noin 4 metriä. Kaivannot tuettiin teräsponttiseinin, joista radanpuoleinen sivu oli pysyviä pontteja, kun taas muut pontit olivat väliaikaisia. Ponttien sisäpuolella kaivannon korkeuserot eivät saaneet olla yli 2 metriä ja luiskakaltevuu den tuli olla loivempi kuin 1:4. Kaivantojen kuivana pitoa varten tontille tehtiin imeytyskenttä, johon vesi pumpattiin hiekan- ja öljynerottimien kautta. Kuva 11 havainnollistaa radanpuolisen sivun ponttiseinien korkeutta ja tukemisen tärkeyttä, sillä kaivannon syvyys verrattuna radan pintaan on useita metrejä.

Paalutuksessa käytettiin sulfaatinkestävästä betonista tehtyjä, maakärjin varustettuja ja vahvistettuja 300 x 300 sekä 350 x 350 teräsbetonipaaluja, johtuen radan vieressä toispuolisesta maanpaineesta. Alueella olevan syvän savikerroksen takia osa paaluista oli yli 20 metriä pitkiä ja niitä lyötiin maahan 879 kappaletta. Ensimmäiset paalutukset suoritettiin yöllä, jotta junaradan liikkeitä pystyttiin seuraamaan paremmin ja rataliikenteeseen aiheutui mahdollisimman vähän häiriöitä. Paalutus suoritettiin syksyllä 2012 heti maankaivuun ja ponttiseinien asennuksen jälkeen.



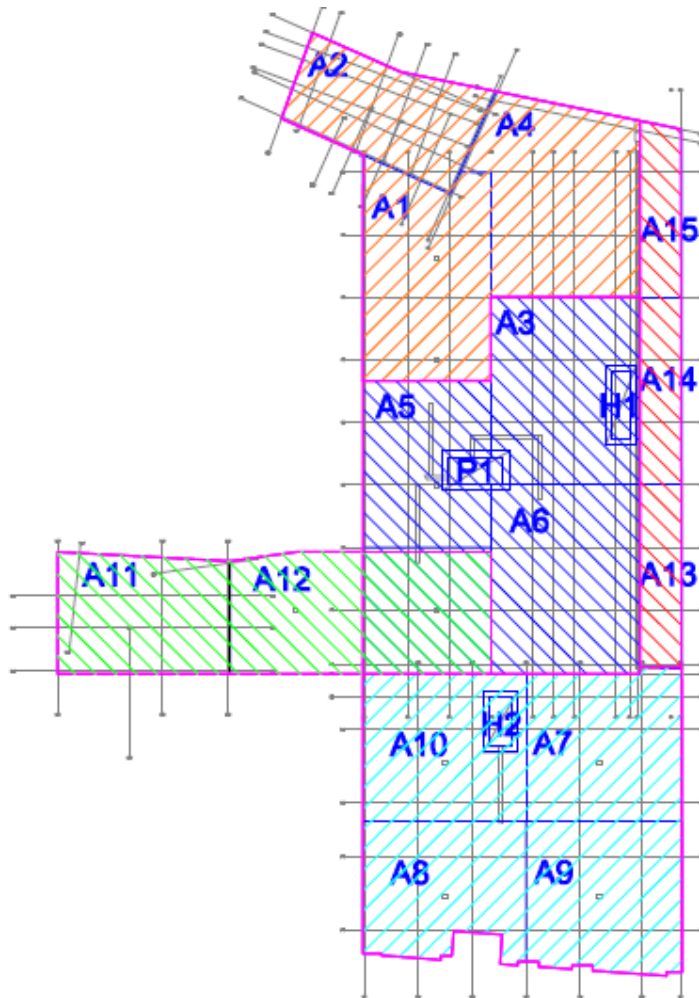
Kuva 11. Paalutustyö käynnissä [16.]

6.3.2 Pontitus

Kaivantojen tukirakenteina toimivat teräsponttiseinät, jotka tuettiin punosankkurein sekä vaakajuoksuin ja vastapontein kallioon. Pontit lyötiin kovaan pohjaan asti ja pontit lyötiin uriinsa, jolloin nurkkiin lyötiin vesitiiviit nurkkaprofiilit. Ponttien minimitaivutusvas-tus työnaikaisille seinille oli $w = 1200 \text{ cm}^3$ ja radanpuoleisille seinille $w = 1600 \text{ cm}^3$. Maankaivu voitiin suorittaa lopulliseen syvyyteensä vasta kun ponttiseinät olivat tuettu-ja.

Ponttiseinien punosankkurit porattiin kallioon, minkä jälkeen ankkurit injektointiin rapid-sementtiä käyttäen ja 7 vuorokauden kuluttua punosankkurit jännitettiin suunniteltuihin voimiinsa. Ponttiseinät lyötiin noin 2,5 metrin etäisyydelle rakennusten tulevista ul-koseinistä. Ponttiseiniä käyttämällä saatiin vedenpitävä kaivanto, joka esti orsivesien pääsyn kaivantoon ja kaivannon kuivaus suoritettiin pumppaamalla vesi ponttiseinien ulkopuolelle. Pohjaveden pintaa tarkkailtiin työvaiheen edetessä, sillä pohjavesi ei saa-nut nousta tontin alueella eikä pohjavesi häiriintyä missään vaiheessa. Pohjaveden häiriintymisellä tässä tapauksessa tarkoitettiin pohjaveden sekä orsiveden pinnan mahdollista laskemista, sillä lähistöllä on puupaaluille perustettuja rakennuksia, kuten rautatieasema, joiden kannalta pohjaveden pinnan lasku olisi voinut aiheuttaa paalujen

homehtumisen ja tuhoutumisen. Tämän vuoksi pohjavesi ei saanut häiriintyä eli alentua luonnollisesta tilastaan edes hetkellisesti ja pohjaveden tarkkailuun kiinnitettiin suurta huomiota.



Kuva 12. Tontin 2018 lohkojako. [16.]

6.3.3 Työbetonilaatan valu

Tontin 2018 pohjalaatan työvaiheet suoritettiin 15 eri lohkoissa kuvassa 12 esitetyn lohkojaon mukaisesti, kun maanrakennusvaihe oli saatu suoritettua. Kuten korttelissa 2017, myös tässä korttelissa valettiin 50 mm paksu raudoittamaton työbetoni suodatin-

kankaan päälle. Työbetonilaatan valu ja sitä seuraavat työvaiheet suoritettiin talvella 2012 - 2013.

6.3.4 Bentoniittimaton asennus

Työbetonilaatan valamisen jälkeen lohossa suoritettiin bentoniittimaton asennus, joka asennetaan työbetonilaatan päälle. Myös tässä korttelissa bentoniittimaton käyttö oli suositeltavaa, sillä matto suojaa pohjalaattaa kemiallisesti aggressiivisessa maaperässä, sekä mahdollistaa matalamman betoninlujuuden. Bentoniittimatto asennettiin lohkoissa siten, että matto jatkui muotin toisella puolella ja jatkokset seuraavaan lohkoon pystyttiin tekemään yhtenäisiksi ja vedenpitäviksi, minimilimityksen ollessa vähintään 30 cm.



Kuva 13. Bentoniittimaton asennus käynnissä. [18.]

6.3.5 Raudoitus ja muottien teko

Bentoniittimaton asennuksen jälkeen lohkoissa aloitettiin raudoitus ja muottien tekeminen. Suunnitellun lohkojaon mukaisesti raudoituksessa ja muottien teossa edettiin lohko kerrallaan ja vedenpainelaatan valu tapahtui heti näiden työvaiheiden valmistuttua. Raudoitusta pohjalaattaa varten tuli lähes 300 000 kg ja muotteja tehtiin lohkoittain työstämisen ja työsaumojen takia noin 600 jm. Talviolosuhteissa suoritettavat työvaiheet vaativat lisätoimenpiteitä kuten muottien puhdistamisen lumesta ja jäätystä.

6.3.6 Vedenpainelaatan valu

Korttelin vedenpainelaatan pinta-ala oli noin 5400 m² ja vedenpainelaatta oli 1050 mm paksu massiivilaatta. Myös vedenpainelaatan valu tapahtui lohkoittain ja valut tapahtuivat heti kun edeltävät työvaiheet lohkoissa oli saatu suoritettua. Lohkojen pinta-ala vaihteli ollen noin 200 – 530 m². Betonointityö tapahtui talvella, joten muottien puhdistukseen sekä betonoinnin suojaukseen ja jälkihoitoon tuli kiinnittää erityistä huomiota. Kuvassa 14 esitetään lohko 2:n betonointityön etenemistä ja raudoitusta.



Kuva 14. Lohko 2 betonointityö käynnissä talvella 2012. [18.]

6.3.7 Työvaiheiden riippuvuudet

Pohjalaatan työvaiheet olivat suurilta osin hyvin samanlaiset kuin kortteli 2017 pohjalaatassa. Työvaiheista ensimmäisenä suoritettiin maanrakennusvaihe, pontitus sekä paalutus, jonka jälkeen työvaiheet suoritettiin lohkoittain aina bentoniittimaton asennuksesta vedenpainelaatan valamiseen asti, kunnes siirryttiin seuraavaan lohkoon tekemään samat työvaiheet. Lohkotus mahdollisti jälleen työn jatkuvan etenemisen ja mahdollisti tiukan rakennusaikataulun.

6.4 Ongelmakohdat

Pohjavesi ja sen pumppaaminen oli myös kortteli 2018 kohdalla haastava, mutta ei niin vaativa kuin kortteli 2017 tapauksessa, johtuen mahdollisesti vuodenajasta, sillä kortteli 2018 pohjarakentamisen työvaiheet sijoittuivat talvelle, jolloin pohjaveden pinta ei ole niin korkealla, kuin muina vuodenaikoina. Lisäksi aikataulussa pysyminen tuotti hankaluuksia, johtuen myös talvella tehdyistä työvaiheista ja niiden takia haastavammista

työn suorittamisesta, sekä kireästä aikataulusta. Jo yhden lohkon myöhästyminen aikataulusta kertautui seuraavaan lohkoon moninkertaisesti ja lopulta aikataulusta jäätettiin useita viikkoja.

7 Kohteiden vertailu

7.1 Kustannusvertailu

Kustannusvertailussa on laskettu alapohjalaatan työvaiheiden toteutuneet kustannukset, mutta koska osa työvaiheista on tehty urakkahinnalla, sisältyy esimerkiksi maanrakennusvaiheeseen alapohjalaatan yläpuolisia työvaiheita, joita ei ole muuten tässä työssä huomioitu. Lemminkäisen toiveesta kustannuksia ei esitetä työssä, vaan vertailu on suoritettu laskemalla kustannusten erotus, ja sen tulos esitetään prosenttilukuna. Lisäksi kustannuksia havainnollistamaan käytetään vertailulukua, joka on saatu jakamalla toteutuneet kustannukset teräsponttiseiniin sisään jäävän alueen pinta-alalla, sillä teräsponttiseiniin sisäpuolella tapahtui kaikki alapohjalaatan työvaiheet ja niistä aiheutuneet kustannukset.

Kustannusvertailuun sisältyvät työvaiheet ja kustannukset ovat maanrakennustyövaihe, paikallavalutyöt, lisätyöt sekä laatan betonimäärä. Maanrakennustyövaiheeseen sisältyvät kaikki maankaivut, kaivannon kuivana pito, paalutus, teräsponttiseiniin asennus ja ankkurointi, bentoniittimaton asennus sekä kunnallistekniikan asennus. Paikallavalutyöt sisältävät muottien laudoituksen sekä raudoituksen ja betonin valutyön. Lisätyöt sisältävät kaikki työt, jotka eivät kuuluneet sovittuihin urakoihin tai niitä jouduttiin tekemään tuntihinnoilla. Laatan betonimäärät sisältävät ainoastaan toteutuneen betonimäärän, mutta ei betonin kuljetusmaksuja tai pumppausta.

Kustannusvertailun tuloksina selvisi, että korttelin 2017 kustannukset olivat kokonaisuudessaan noin 12,3 % pienemmät kuin korttelissa 2018. Vertailua ei kuitenkaan voida tulkita yksiselitteisesti katsomalla ainoastaan toteutuneita kustannuksia ja todeta korttelin 2017 ratkaisun olleen kustannustehokkaampi, sillä pohjalaattojen ja muiden siihen liittyvien työvaiheiden määrät eivät olleet yhtäläiset. Tämän vuoksi laskettiin myös vertailulukuksi tonttien kokonaiskustannukset jaettuna tontin pontitettun alueen pinta-alalla, jotta vertailulla saataisiin luku, joka vastaisi kustannusten suhdetta laajuuteen nähden. Vertailuluvut osoittivat, että kustannusten suhde laajuuteen oli molem-

missa hyvin lähelle samaa luokkaa, kortteli 2017 luvun ollessa kuitenkin hieman pienempi, kuin kortteli 2018 luku. Vertailulukujen prosentuaalinen ero oli noin 0,6 %, joten erotusta ei voida pitää merkittävänä.

Kustannusvertailua ei voida pitää täysin verrannollisena kohteiden välillä, sillä korttelin 2018 maanrakennustyöhön ja siitä tehtyyn urakkasopimukseen sisältyi myös tontilla aikaisemmin sijainneen autolastauslaiturin purkaminen, mikä toi hieman lisäkustannuksia verrattuna kortteliin 2017. Lisäksi korttelissa 2018 suoritettiin pohjalaattatöitä osin talvella, toisin kuin korttelissa 2017. Talvityöt aiheuttavat enemmän kustannuksia, mutta talvitöitä ja niiden vaikutuksia ei lähdetty tässä vertailussa erittelemään, vaan vertailun kohteena olivat ainoastaan toteutuneet kustannukset. Huomioitavaa on myös pohjalaattaratkaisun valinnan ja siitä johtuvan betonimäärän eroavaisuudet, sillä korttelissa 2018 pohjalaatan betonimäärä oli lähes 1400 m³ suurempi. Laajemmat maanrakennustyöt sekä betonimäärä ja töiden sijoittuminen talvelle vaikuttivat olennaisesti kustannusten kasvamiseen korttelissa 2018. Kustannusten suhde laajuuteen oli silti molemmissa kortteleissa lähes yhtä suuri ja onkin mahdotonta laskea, kuinka paljon pienemmiksi kustannukset olisivat voineet tulla myös korttelissa 2018, mikäli työt olisi tehty samaan vuodenaikaan kuin kortteli 2017, eivätkä talven haitat olisi vaikuttaneet kustannuksiin.

7.2 Aikatauluvertailu

Aikatauluvertailu on suoritettu aluksi työvaiheittain yleisaikataulujen pohjalta, sillä työvaiheet sekä niiden laajuudet ovat suurilta osin samankaltaiset molemmissa kortteleissa sekä lopulta verrataan työvaiheiden yhteiskestoa vedenpainelaatan valmistumiseen saakka. Aikataulut ilmoitetaan työpäivinä. Lisäksi aikataulussa pysymistä tarkastellaan, mikäli työvaiheet eivät ole edenneet suunnitellun aikataulun mukaisesti.

Työvaiheet ovat jaettu maanrakennusvaiheeseen sekä muut painelaatan työvaiheet. Maanrakennusvaihe sisältää maankaivut, teräsponsseihin asennuksen, maantäytöt sekä paalutuksen ja suodatinkankaan asennuksen. Muihin pohjalaatan työvaiheisiin sisältyvät painelaattaan liittyvät loput työvaiheet kuten työbetonin valu, bentoniittimaton asennus, raudoitus ja laudoitus sekä painelaatan valaminen.

Taulukossa 1 esitetään työvaiheiden kestot sekä yhteiskestot alkaen maanrakennusvaiheesta ja päättyen pohjalaatan valujen valmistumiseen. Kestot on ilmoitettu työpäi-

vinä, joita on laskettu viikossa olevan viisi. Aikataulussa ei ole otettu huomioon mahdollisia ylityöpäiviä. Yhteiskestojen laskemisessa on otettu huomioon työvaiheiden lohkoitus, jonka hyötynä ensimmäisissä lohkoissa oli päästy jo pohjalaatan valamiseen, kun viimeisissä vielä suoritettiin maanrakennusvaihetta. Lisäksi taulukossa on laskettu pontitetun alueen pinta-ala, jonka sisäpuolella pohjalaatan työvaiheet tapahtuivat, jaettuna yhteiskestolla, jotta tämä havainnollistaa hieman lisää työn etenemistä, sillä pohjalaattojen pinta-alassa oli eroavaisuuksia. Tämä lasku antaa luvun, joka auttaa vain havainnollistamaan vertailua ja tuomaan laajuuden mukaan vertailuun, mutta ei muilla tavoilla kuvaa yhteiskestoa tai sen muodostumista.

Taulukko 1. Pohjalaatan työvaiheiden kestot

Työvaihe	Kesto päivinä kortteli 2017	Kesto päivinä kortteli 2018
Maanrakennusvaihe	121 pv	133 pv
Muut painelaatan työvaiheet	59 pv	61 pv
Yhteiskesto	116 pv	146 pv
Pontitetun alueen pinta-ala	5280 m ²	5985 m ²
m ² /työpäivä	noin 45.52 m ² /työpäivä	noin 41.00 m ² /työpäivä

Pohjalaatan työvaiheet olivat siis suunnitelluilta kestoiltaan 116 työpäivää korttelissa 2017 ja 146 työpäivää korttelissa 2018. Suunnitellut kestot aikatauluihin olivat määriteltynä 8 tuntisina työpäivinä sekä viisipäiväisinä työviikkoina, eikä aikatauluihin otettu huomioon mahdollisia ylityöpäiviä tai ylityötunteja.

Vertailun perusteella kortteli 2017 oli yhteiskestoltaan 30 työpäivää nopeampi suorittaa. Myös maanrakennusvaihe kuten muutkin työvaiheet olivat suunnitelluissa aikatauluissa nopeammin suoritettuja. Koska laajuudet erosivat toisistaan, laskettiin molempien kortteleiden pontitetun alueen pinta-alojen perusteella luvun havainnollistamaan vertailua. Myös tämän lukeman perusteella kortteli 2017 pohjalaatta ja sen työvaiheet olivat nopeampia suorittaa.

Vertailun lisäksi on huomioitava ajankohdat, jolloin työvaiheet suoritettiin eri kortteleissa. Kortteli 2017 työvaiheet tapahtuivat kevään ja kesän aikana, kun taas 2018 työvaiheet suoritettiin syksyn ja talven aikana. Talvella tapahtuvien työvaiheiden kestot ovat osaltaan pidempiä, kuin muina vuoden aikoina tehdyt samat työvaiheet. Kuvassa 15 on esitetty talvitöiden haitta- ja lisäprosentit eri työvaiheille. Esimerkiksi betonointityössä lisäprosentit vaihtelevat ollen pienimmillään 15 prosenttia lämpötilan ollessa 0°C aina 50 prosenttiin lämpötilan laskiessa alle -12,5°C:een. Talvitöiden lisäprosentteja ei kuitenkaan laskettu mukaan korttelin 2018 aikatauluun. Talvesta johtuen olosuhteet olivatkin osittain erilaiset kortteliin 2017 verrattuna eri vuodenaikojen takia ja tämä aiheutti korttelin 2018 aikataulusta myöhästymistä. Suurin osa työvaiheista suoritettiin kuitenkin molemmissa kortteleissa ennen pakkasia ja siitä johtuvia haittoja. [19.]

Talo 90 Nro	Työlaji Nimi	Töiden talvityöhaitta- ja lisäprosentit (%)				Lähde
		Lämpötilaluokat				
		0...-2,5	-2,5...-7,5	-7,5...-12,5	alle -12,5	
1	Maarakennustyöt					ei tietoa
21	Muottityö					
	lautamuottityö	7	10	15	20	Ratu
	levymuottityö	7	10	15	20	Ratu
	kasettimuottityö	7	10	15	20	Ratu
	suurmuottityö	3	5	10	20	Ratu
	pöytämuottityö	3	5	10	15	Ratu
	kulmamuottityö	3	5	10	15	Ratu
	erikoismuottityö	7	10	15	20	mallityö
	muottien purku ja puhdistus	7	10	15	20	mallityö
22	Rauditus	7	15	25	35	mallityö
23	Betonointi					
	nostoastiabetonointi					
	– anturat	15	15	40	50	Ratu
	– seinät ja pilarit	15	15	40	50	Ratu
	– laatat ja palkit	10	10	35	45	Ratu
	pumppubetonointi					
	– anturat	15	40	50	60	Ratu
	– seinät ja pilarit	15	30	40	50	Ratu
– laatat ja palkit	15	40	50	60	Ratu	

Kuva 15. Talvitöiden haitta- ja lisäprosentit. [19.]

Kortteli 2018 jäikin alkuperäisestä aikataulustaan alapohjalaatan osalta noin kolme viikkoa jälkeen. Syitä aikataulusta myöhästymiseen olivat talven olosuhteet, sillä aikataulussa ei otettu huomioon mahdollisia päiviä, jolloin olosuhteiden tai rikki menneen kaluston takia ei pystytty jatkamaan työskentelyä sekä yksinkertaisesti erittäin tiukka aikataulu. Tässä tapauksessa yhden valulohkon myöhästymisen aiheuttikin viiveen kertautumista viimeisiin lohkoihin ja aikataulua ei ollut mahdollista saada kurottua umpeen edellä mainittujen syiden vuoksi. Lisäksi ponttiseiniä ei ollut mahdollista poistaa niin kuin oli suunniteltu, sillä laatan paino ei olisi välttämättä kestänyt vielä veden-

painetta ja se olisi noussut ja oli mahdollista, että ponttien ulkopuolella olevalta alueelta tulisi vettä kaivantoon. Tämän takia ponttiseinien poistoa jouduttiin lykkäämään ja tämä aiheutti myös viivettä pohjalaattatyötä seuraaviin työvaiheisiin, kuten maanpaineisiin.

Kortteli 2017 myöhästyi myös suunnitellusta aikataulustaan pohjalaatan osalta, mutta vain alle viikon. Myöhästymisiä aiheutti niin pohjaveden hallinta kuin myös vaativa raudoitus.

8 Riskiarviointi

Molemmissa tonteissa suurimpina riskeinä olivat pohjavedenhallinta, pohjalaatan valamisen onnistuminen sekä tiukassa aikataulussa pysyminen haastavissa olosuhteissa. Pohjavesi ei saanut laskea työn aikana lähialueella puupaaluille perustettujen rakennusten takia, joten pohjavettä tuli tarkkailla jatkuvasti ja korvaavaa vettä tuli imeyttää maahan mikäli pohjavesi pääsi laskemaan. Varsinkin korttelin 2017 pontitus- ja paalutustöiden aikana orsi- ja pohjavesi tunkeutuivat erittäin voimakkaasti kaivantoon. Myös korttelin 2018 orsi- ja pohjavesi tunkeutui kaivantoon, mutta ei enää niin voimakkaasti kuin viereisellä kortteli 2017 tontilla. Veden tunkeutumisen johdosta kaivantoja jouduttiin pitämään kuivina pumppaamalla vettä pois kaivannoista ja tämä aiheutti lisätöitä.

Pohjalaatan valaminen huolellisesti oli myös erittäin tärkeää laatan vedenpitävyyden kannalta, jotta mahdollisilta vuodoilta ja veden tihkumiselta laatan ja liitoskohtien välillä pystyttäisiin välttymään. Erityistä huolellisuutta vaativat pohjalaatan työsaumat sekä pohjalaatan ja maanpaineisien liittyminen toisiinsa, sillä ne ovat kriittisimmät paikat vedenpaineen alaisissa olosuhteissa oltaessa, jotta vesi ei pääse tunkeutumaan rakenteiden sisään.

Kyseisissä kohteissa haastavat olosuhteet toivat omat riskinsä mukaan suunnitteluun ja päivittäiseen työskentelyyn työmailla. Läheinen junarata toi mukaansa normaalista poikkeavan huomiota vaativan työturvallisuusnäkökulman. Riskeinä olivat täten työturvallisuuden lisäksi myös junaliikenteen sujuminen häiriöttä eri työvaiheiden aikana. Myös kohteiden sijainti Helsingin keskustassa aiheutti logistisia haasteita tonttien ahtauden ja varastointitilan puutteen vuoksi. Lisäksi alueella esiintyvät pilaantuneet maat sekä niiden laajuus ja poiskuljettaminen toivat riskejä, sillä esimerkiksi ihmisille haitallisille aineille oli mahdollista altistua.

Vedenpaineenalaisen pohjarakentamisen suurimpia riskejä ovat siis pohjavedenhallinta, työvaiheiden aikataulussa pysyminen, vallitsevat sääolosuhteet, työturvallisuus sekä valutyön epäonnistuminen. Näihin riskeihin tulee varautua huolellisesti ennen rakentamisen alkua ja riskejä tulee myös seurata jatkuvasti rakentamisen aikana.

Pohjavedenhallinta tämänkaltaisissa kohteissa on aina olemassa oleva riski, sillä se on tärkeä osa rakennushankkeen onnistumista. Toisaalta se ei vaikuta merkittävästi aikatauluun tai kustannuksiin, mikäli siihen on varauduttu. Vaikka pohjavesi laskisi tai tunkeutuisi kaivantoon, sen aiheuttamat toimenpiteet kuten veden imeytys ympäristöön ja kaivannosta pois pumpppaus eivät vaikuttaisi aikatauluun, sillä muut työvaiheet pystytään suorittamaan näistä huolimatta. Kustannuksiin tämä riski vaikuttaa myös vain vähäisesti pienten lisätöiden takia. Tämän riskin todennäköisyys on suuri, mutta se ei ole vakava eikä aiheuta merkittäviä toimenpiteitä.

Mikäli edeltävä työvaihe viivästyy, sen vaikutukset aikatauluun ja tämän kautta kustannuksiin voivat vaikuttaa jo suunniteltuihin aikatauluihin ja kustannusarvioihin merkittävästi. Edeltävän työvaiheen jo muutaman päivän myöhästyminen voi kertautua suuressa kohteessa moninkertaiseksi ja täten aiheuttaa jo melko suuria lisäkustannuksia. Lisäksi vaikutukset voivat kantautua esimerkiksi maanrakennusvaiheesta runkovaiheeseen asti, mikäli aikataulua ei saada kurottua umpeen. Riski on melko todennäköinen, joten sitä täytyy tarkkailla ja toimenpiteisiin ryhtyä jo ennen myöhästymistä esimerkiksi lisäämällä resursseja.

Sääolosuhteisiin vaikuttaa suuresti vuodenaika ja täten riskin mahdollinen toteutuminen määräytyy vuodenajan mukaan. Vaikutukset voivat olla pahimmillaan suuret ja aiheuttaa työvaiheen viivästymistä ja lisäkustannuksia lisääntyneiden töiden seurauksena.

Työturvallisuusriski junaradan läheisyydessä työskenneltäessä voi vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin ja aikatauluun. Riski ei ole kovinkaan todennäköinen, mutta silti se on aina olemassa oleva. Esimerkiksi junaradan läheisyydessä tapahtuvan työvaiheen edetessä suurena työturvallisuusriskinä on henkilöiden tai koneiden joutuminen radan suojaulottuman sisäpuolelle, jonka seurauksena voi olla esimerkiksi jännitekatkosta johtuva junaliikenteen estyminen tai henkilövahingot.

Valutyön epäonnistumisen vaikutukset olisivat mahdollisesti erittäin suuri riski niin aikataulullisesti kuin kustannusten kannaltakin. Käytettäessä erittäin ammattitaitoista työ-

ryhmää ja asianmukaista työkalustoa riskin todennäköisyyttä voidaan pitää melko vähäisenä. Epäonnistumisen seuraukset voivat kantaa pitkälle, aiheuttaen paljon lisätoita ja kustannuksia.

9 Tulevaisuuden ratkaisumalli

Toteutuneiden aikataulujen vertailun perusteella voidaan todeta korttelin 2017 pohjalaattaratkaisun olleen parempi ja nopeampi ratkaisu suorittaa. Kustannusvertailun perusteella, huomioon ottaen eroavaisuudet töiden laajuudessa, voidaan todeta korttelin 2017 ratkaisun olleen myös hieman kustannustehokkaampi. Ei kuitenkaan merkittävästi, sillä kustannukset olivat lähes yhtä suuret pinta-alaan verrattuna. Haastatteluiden perusteella kuitenkin työn tuotantoteknilliseltä kantilta korttelin 2018 ratkaisua pidettiin helpompana ja parempana ratkaisuna. Syitä tähän olivat tasapaksun laatan maankaivuun ja raudoituksen yksinkertaisempi suoritustapa sekä valittu ratkaisu, joka mahdollisti yhden työvaiheen vähemmän, joka oli alapohjalaatan kallioon ankkuroiminen.

Mielestäni jo yhden vaativan työvaiheen pois jättäminen vähentää riskejä työn etenemisen hidastumisesta ja täten mahdollistaa työn suorittamisen suunnitellussa aikataulussa. Tämän seikan ja haastatteluiden sekä vertailujen perusteella mielestäni mahdollinen tulevaisuuden ratkaisumalli voisi olla korttelin 2018 kaltainen, vaikka tässä tapauksessa korttelin 2017 kallioon ankkuroitu ohuempi laatta olikin nopeampi suorittaa ja hieman kustannustehokkaampi. Silti työn suorittaminen oli helpompaa korttelissa 2018 ja mielestäni aikataulun kannalta riskejä oli vähemmän, koska tässä tapauksessa ei jouduttu suorittamaan vaativaa ankkuroimista kallioon. Mikäli tämä työvaihe epäonnistuisi, riskeeraisi se muun työn etenemisen aikataulussa.

Tulosten perusteella ei kuitenkaan voi suoraan sanoa oikeaa ratkaisumallia tulevaisuutta varten, vaan edellä mainittu ratkaisumalli on vain oma pohdintani pohjalaattatyön valintaan. Tutkitun kaltaiset olosuhteet junaradan läheisyyden ja vedenpaineen samalla tontilla huomioon ottaen ovat varmasti melko harvinaiset ja ratkaisut tehdään yhdessä suunnittelijoiden ja pääurakoitsijan kesken. Valintaan vaikuttaa tietenkin myös pohjatutkimus, joka on edellytys sille, että suunnittelija voi suunnitella ja tutkia mahdollisia vaihtoehtoja.

Valitaan tulevaisuudessa minkälainen ratkaisu tahansa, on kohteen laajuudesta riippumatta mielestäni tärkeää tehdä lohkojako, sillä jo tämä vähentää suuresti työvaiheiden myöhästymisen riskiä ja edesauttaa työn sulavaa etenemistä. Myös työmaakohtainen riskiarviointi on erittäin tärkeä tehdä ja ottaa riskit huomioon ratkaisua valittaessa, jotta niihin osataan varautua ja ne pystytään minimoimaan. Suurimpia riskejä myös tulevaisuuden kohteissa tulevat olemaan pohjavedenhallinta, pohjalaatan betonointityön epäonnistuminen, yksittäisen työvaiheen aikataulusta myöhästyminen ja myöhästymisen kertautuminen, työturvallisuus sekä sääolosuhteet. Nämä riskit ja niiden vaikutukset tulee ottaa huomioon pohjalaattaratkaisua valittaessa.

10 Yhteenveto ja päätelmät

Tämän insinööritöön tavoitteena oli vertailla kahden samankaltaisten ja vierekkäisten tonttien vedenpaineenalaisen pohjalaattaratkaisun eroavaisuuksia kustannusten ja aikataulullisten toteutumien perusteella. Molemmissa tonteissa toteutettiin asuin- ja toimistotalon perustukset ja pohjalaatta eri ratkaisuilla ja insinööritöillä haluttiin saada selville ratkaisujen eroavaisuudet niin aikataulullisesti kuin kustannuksellisesti ja mahdolliset hyvät ja huonot puolet.

Kustannusten ja aikataulujen vertailujen perusteella todettiin, että korttelin 2017 pohjalaattaratkaisu oli tehokkaampi niin kustannuksellisesti kuin aikataulullisesti sekä aikataulussa pysymisen kannalta. Koska tonteilla suoritettavien alapohjalaattatöiden laajuudet olivat suuruudeltaan erilaiset, havainnollistettiin vertailua vertaamalla toteutuneita aikatauluja ja kustannuksia ratkaisujen pinta-aloihin. Kustannuksellisesti ratkaisut olivat lähes samaa suuruusluokkaa, kun niitä verrattiin laajuuteen.

Vertailujen tuloksia ei voida pitää suoraan verrannollisina keskenään, vaikka alapohjalaatan työvaiheet olivat suurilta osin hyvin samankaltaiset ja ympäristö oli samanlainen, sillä työvaiheet tehtiin eri vuodenaikoihin ja esimerkiksi talvitöillä on vaikutusta niin kustannuksiin kuin aikatauluunkin. Talvitöiden lisäkustannukset ja vaikutukset aikatauluun ovat riippuvaisia talven kylmyydestä ja lumen määrästä, joten sille ei voida määrittää mitään tiettyä kerrointa.

Tulevaisuudessa tehtäviin vedenpaineenalaisiin laattoihin ei ole yksiselitteistä ja parasta ratkaisua mahdollista esittää, sillä valittavaan ratkaisuun vaikuttaa niin monia eri

asioita, kuten pohjaolosuhteet sekä työn aikana vallitsevat olosuhteet ja mahdolliset riskit. Tämän takia jokaisessa kohteessa ratkaisut täytyy tehdä aina tapauskohtaisesti suunnittelijoiden ja urakoitsijan yhteisesti parhaaksi näkemällään tavalla.

Lähteet

- 1 Lemminkäinen Oy yritys. 2013. Verkkodokumentti. Lemminkäinen Oy. <www.lemminkainen.fi>. Luettu 26.5.2013
- 2 Töölönlahden talot. 2013. Verkkodokumentti. Töölönlahden talot. <www.toolonlahdentalot.fi>. Luettu 26.5.2013.
- 3 Jääskeläinen, Raimo. 2011. Geotekniikan perusteet. Helsinki. Tammertekniikka.
- 4 RT RakMK-21228. 2003. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Rakennustieto.
- 5 Jääskeläinen, Raimo. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Helsinki. Tammertekniikka.
- 6 RT 83-11032. 2011. Vedenpaineen eristys. Määräykset ja ohjeet. Helsinki. Rakennustieto.
- 7 Pohjavedenhallinta suunnitelma. 2011. Lemminkäinen Talo Oy.
- 8 Rakentamisselvitys tontit 2017 ja 2018. 2010. Sito Oy.
- 9 Kalenoja, Hanna & Kallberg, Harri. 2005. Liikenteen ympäristövaikutukset. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenne- ja kuljetustekniikan laitos.
- 10 Ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristö.fi <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=7551&lan=fi>> Luettu 26.5.2013.
- 11 Helsingin kaupunki ympäristökeskus. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <http://www.hel.fi/hki/ymk/fi/Ymp_rist_n+tila/Maaper_/Maaper_n+pilaantuminen> Luettu 26.5.2013
- 12 Ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11121&lan=fi>>
- 13 Ympäristötekniinen perusselvitys. 2011. Pohjatekniikka Oy.
- 14 Pilaantuneen maaperän kunnostussuunnitelma. 2005. Jaakko Pöyry Infra.
- 15 Rakennustyöselostus. 2010. Sito Oy.

- 16 Lemminkäinen projektipankki. 2011- 2013. Lemminkäinen Talo Oy.
- 17 Havainnekuvia Töölönlahdelta. 2013. Verkkodokumentti. Töölönlahden talot.
<<http://toolonlahdentalot.fi/uusi-havainnekuvia-toolonlahdelta/>> Luettu 20.5.2013.
- 18 Kortteli 2018. 2012–2013. Kuvia kohteesta.
- 19 Ratu C8-0377 Talvityöt ja -kustannukset. 2010. Helsinki: Rakennustieto.

Kluuvin kaupunginosan asemakaava

